



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

TRABAJO FINAL DE GRADO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE MONTURAS POR IMPRESIÓN 3D.

RAFAEL BELLO PADILLA

DIRECTORA MARTA FRANSOY
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA DE TERRASSA



FECHA DE LECTURA

Este proyecto se presentara el día 25 de enero de 2017 en el auditorio Joan Salvadó del Centro Universitario de la Visión, a las 10:00.

El Sr./Sra., como tutor/a del trabajo y el Sr./Sra.
..... como director del trabajo

CERTIFICAN

Que el Sr./Sra.
ha realizado bajo su supervisión el trabajo
..... que se recoge en esta memoria
para optar al título de grado en óptica y optometria.
Y para que conste, firmo/firmamos este certificado.

Sr/Sra.....
Tutor/a del trabajo

Sr/Sra.....
Director/a del trabajo

Terrassa,de.....de 20.....



RESUMEN

Este trabajo de fin de grado trata sobre la fabricación de objetos tridimensionales mediante la tecnología de impresión 3D. Concretamente, sobre la utilización de la técnica de deposición fundida de material para la fabricación de monturas de gafas.

Para sentar las bases de esta tecnología, empezaré explicando la evolución tecnológica desde sus inicios hasta las tendencias actuales y las aplicaciones futuras.

El gran avance que supone utilizar la tecnología de impresión 3D en la fabricación de monturas es la gran versatilidad a la hora de diseñar formas y calibres, lo que permite producir monturas totalmente personalizadas según los parámetros faciales de los usuarios.

Poder personalizar la montura es muy importante, sobre todo en casos de personas cuyos parámetros faciales no se corresponden con las medidas habituales de las monturas comercializadas actualmente.

En la parte experimental del trabajo se propone un protocolo de toma de medidas tanto facial como del calibre de la montura. Es importante determinar la anchura total y del puente de la montura para establecer una buena correspondencia con las medidas antropométricas del usuario, como son la anchura de la cara y la nariz, como parámetros más decisivos en la adaptación.

En la siguiente parte del trabajo, se plantea el diseño de la montura paso a paso mediante un programa de diseño en 3D, como es el AutoCAD.

Se concluye planteando las limitaciones y las perspectivas futuras de esta tecnología, cuyas aplicaciones en el ámbito de la salud están adquiriendo gran relevancia.

Resum

Aquest treball de fi de grau tracta sobre la fabricació d'objectes tridimensionals mitjançant la tecnologia de impressió 3D. Concretament, sobre la utilització de la tècnica de deposició fosa de material per la fabricació de muntures d'ulleres.

Per assentar les bases d'aquesta tecnologia, començaré explicant l'evolució tecnològica des de els seus inicis fins les tendències actuals y les aplicacions futures.

El gran avanç que suposa utilitzar la tecnologia de impressió 3D en la fabricació de muntures es la gran versatilitat a l'hora de dissenyar formes y calibres, el que permet produir muntures totalment personalitzades segons els paràmetres facials dels usuaris.

Poder personalitzar la muntura es molt important, sobretot en casos de persones amb paràmetres facials que no es corresponguin amb les mesures habituals de les muntures comercialitzades actualment.

En la part experimental del treball es proposa un protocol de presa de mesures tant facials com de calibre de muntura. Es important determinar l'amplada total y del pont de la muntura per establir una bona correspondència amb les mesures antropomètriques de l'usuari, com son l'amplada de la cara y el nas, com a paràmetres mes decisius en l'adaptació.

En la següent part del treball, es planteja el disseny de la muntura pas a pas mitjançant un programa de disseny en 3D, com es l'AutoCAD.

Es conclou plantejant les limitacions y les perspectives futures d'aquesta tecnologia, i en l'àmbit de la salut que aquesta tecnologia esta adquirint gran rellevància.

Summary

This end-of-degree paper deals with the manufacture of three-dimensional objects using 3D printing technology. Specifically, it deals with the use of the molten deposition technique of material for the manufacture of frames of spectacles.

To lay the foundations of this technology, I will start by explaining the technological evolution from its beginnings to the current trends and future applications.

The great advance of using 3D printing technology in the manufacture of frames is the great versatility when designing shapes and calibers, allowing you to produce fully customized frames according to the user's facial parameters.

Being able to customize the mount is very important, especially in cases of people whose facial parameters do not correspond with the usual measures of frames currently marketed.

In the experimental part of the work we propose a protocol for taking measurements both facial and the caliber of the mount. It is important to determine the total width and bridge width of the mount to establish a good correspondence with the anthropometric measures of the user, such as the width of the face and nose, as more decisive parameters in the adaptation.

In the next part of the work, the design of the frame is proposed step by step through a 3D design program, such as AutoCAD.

It concludes with the limitations and future perspectives of this technology, whose applications in the field of health are becoming very relevant.

Abstract

In 1976 inkjet printer was invented. From that moment, the technology has evolved to reach the three-dimensional impression, this type of impression has caused changes during decades in different branches of the industry.

The printing of three-dimensional models begins in 1984, when Charles Hull invents stereolithography, two years later the patent and creates the company 3D Systems. Just two years later, in 1988, Scott Crump at 3D Systems invented FDM (fused deposition modeling) technology and marketed the first 3D printer. Shortly after, the following year, Scott Crump founds Stratasys. But it is not until 1992 that he is granted the patent for the FDM system.

The selective laser synthesized (SLS) was created in 1987, two years later the patent of this technology is granted.

In 1993, MIT developed 3DP technology, three-dimensional injection technology. But it was Z-corporation, in the group of 3D Systems, that obtains the license and commercializes the first printer 3DP of the market.

In 2005 Adrian Bowyer founded RepRap, an open-source initiative to create a 3D printer that could print its own parts, but it is not until 2008 that three-dimensional printers are accessible to more people, for this reason, the RepRap project, which launches "Darwin", the first self-replicating printer that can print most of its components. Thanks to this concept, RepRap 2009 brings to market the first FDM printer in kit form.

Stereolithography is the technology that allows the creation of a physical prototype, which is built layer by layer from the solidification of a photosensitive monomer or light-cured liquid resin by the incidence of light radiation (ultraviolet or visible spectrum). This technique admits complex geometries with very thin wall thicknesses, high level of definition, good dimensional precision and its surface finish is good. This technology has as inconvenience, its high cost for the need of resins and the object will be weak and translucent.

In the manufacturing process with the technology of selective synthesis by laser is achieved layer by layer from fusion, for the energetic contribution in the form of heat of a laser of the grains of material in the form of fine powder deposited and compressed in a roller. The laser travels through the sections of each of the layers to solidify and heats the powder above its synthesizing temperature causing the grains to join. This technology allows many different materials, great precision and reproduction of complex geometries without the need of supports or elimination of surplus material. As an inconvenience we have the porous appearance of the printed piece.

The technique of ballistic of particles (BPM) consists in that material in the molten state projects in the form of very small drops (pulverized) following the section of each one of the layers. The impact of the drops on the surface achieves solidification. The process is carried out under vacuum or in a nitrogen atmosphere (N₂) to avoid oxidation. As an advantage we have that it is an economic and ecological process, but

as disadvantages, the fragility of the pieces obtained and the need for an inert atmosphere in its processing stand out.

The model in laminated manufacture (LOM) is obtained from the adhesion of sheets, one on top of the other, and the cutting of these by a laser beam (CO2) or blades, following a contour defined by a CAD3D file. It is a precise process and with a variety of materials, but as drawbacks, its surface finish is highlighted, due to the difficulty of defining internal voids.

With 3D printing (3DP), the model is obtained from the addition layer to layer of a material in the form of resin or powder (polymer, ceramic or metal) that is compacted and cohesive by the deposition of a binder following the different Sections of the 3D CAD model. Its most outstanding advantage is its speed of printing, but, in its list of disadvantages we have the little precision and the poor surface quality.

One of the most used techniques is the model of fused deposition (FDM), this consists of superimposing the molten material layer on layer, to start a new one the previous has to be solid, and so on until the piece is finished. This is the technology that we will use in our project thanks to its not so high cost and its reduced volume. Its great disadvantage is the speed of printing in massive pieces and of great volume, although, in our case it is not critical due to the reduced volume of the pieces to create.

The filament used in FDM 3D printers is sold in reels and specifies the type of polymer, its working temperature, bed temperature, base or heated platform and its diameter (1.75 or 3mm). The most widely used is PLA and ABS. ABS filament is a polymer used in the manufacture of Lego parts and is characterized by its high impact strength, mechanical strength, hardness and rigidity toughness and PLA filament is a bit softer than the previous but very good to reproduce intricate figures. This is because melting is much more fluid so it is able to better represent the details of the pieces.

The FilaFlex is another very interesting material; it is a thermoplastic elastomer with polyurethane base and added to make it flexible and printable. Provides flexibility that is ideal for elbows of children's frame, or even parts of sport frame. It supports dual printing with other more rigid polymers for the purpose of making bi-material or composite parts. Finally, another filament for purely aesthetic purposes would be the Laywood, this is formed by a mixture of fibers of wood and polymer. The polymer gives it flexibility, while the fibers give color and the typical appearance of the wood.

Currently these technologies have multiple and very diverse applications, but each day more appear. In the food and pharmaceutical sector, they begin to use this technology, both to create food with forms (Printer Foodini) and to regulate the doses of a drug (Spritam, anti-epilepsy medicine).

The movement RepRap is present in the domestic sphere, still very discreetly, but with a very positive growth, this movement allows a person in his own home to recreate or design a piece that needs, a spare that is not manufactured or any Something that goes through your head, you can also enter any repository of designed pieces and print what you find interesting.

In aeronautics, they are doing a lot of tests, in the field of the space agencies, or even in companies like Airbus, mainly study ways to print parts in zero gravity for repairs. Another sector that also studies the design of personalized pieces is the automobile; they create pieces, in large part, for cars of competition, to improve the performance.

In my opinion, one of the most interesting sectors in the evolution of this technology is the health sector, nowadays are implanted prosthesis, different parts of our body printed, even some medical research center works in the printing of Human tissue with blood vessels by bio impression.

The conventional manufacture of frames contains a very high number of different and less industrialized processes; this is due to the infinity of models and colors that are manufactured. To create a frame, first we have the design process, which consists of creating a mold of what will be the frame, this will make it very specialized professional in modeling. Next, we will begin the machining process, the first thing is to lower the acetate to acceptable measures and stick the nose support, later we will precede to cut the external and internal form of the frontal thanks to a machine of numerical control. Once cut the shape of the frame will curve to give angle and insert the hinges (half hinges) on the elbows of the front. Once done this will put the frontal in the polisher containers filled with wood during four days for its polishing. The process of producing the branches is very similar. The main difference is that after the shape is cut, and before polishing a metal filament is inserted in the center of the branche.

In our proposal to create a frame by 3D impression we will develop an action protocol to customize a frame to a specific user, this will give us a level of customization to consider for complicated cases, or simply for users who want a unique frame and made for them. The process will consist of a small anamnesis to know the needs, preferences of our user and, last but not least, what expectations have on the frame to create. Once we have clear what you like and want our user we will proceed to take measurements of caliber, nasal bridge, and naso-pupillary distances thanks to the tools we have created for this purpose. The next step will be the most delicate because it will come into play the aesthetic concept, skill and above all creativity of the person responsible for the design. The steps of this process will always be the same: designs of the shape of the lens, design of the shape of the ring, proper nasal design, extrusion of the piece, curvature of the same, create bevel and placement of nose pad and hinges. The process for the rods will be the same.

The conclusions we get from this work, is that three-dimensional printing technology is being imposed in all sectors very quickly. This will cause a change in conventional industrialization, since each person will be able to print their product, being able to print an own design or to download it from a file. This change in production will start a way for the customization of the products.

Preparing this project, we have encountered several considerable difficulties, such as the complexity of designing three-dimensional without basic notions, or technical difficulties in assembling a first 3D printer.

Having faced these issues, my purpose is to continue advancing in the design of frames more complex and bimaterial designed, as paediatric frames, and carry on a study about user's long-term comfort compared with frames currently available.

INDICE:

Marco teórico

1. Historia de la impresión 3D.	12
2. Actualidad de impresión 3D	14
2.1. Técnicas de impresión 3D.	14
2.1.1. Estereolitografía.	14
2.1.2. Sintetizado selectivo por láser (LSL).	15
2.1.3. Fabricación mediante balística de partículas (BPM).	16
2.1.4. Fabricación laminada (LOM).	17
2.1.5. Printing (3DP).	17
2.1.6. Modelado por deposición fundida (FDM).	18
2.2. Materiales utilizados en impresión 3D FDM.	19
3. Ámbitos de aplicación de impresión 3D.	25

Parte experimental.

4. Procesos industriales de fabricación de monturas convencionales	29
4.1. Selección del material.	29
4.2. Proceso de diseño.	29
4.3. Mecanizado	30
4.4. Acabados	33
5. Creación de una montura por impresión 3D.	34
5.1. Prototipos para la toma de medidas.	34
5.2. Proceso de selección de forma de la montura.	40
5.3. Diseño de la montura en simulación 3D.	43
6. Conclusiones y futuros trabajos.	50
7. Bibliografía.	51

Índice de Figuras:

Figura 1: Técnica de estereolitografía.	14
Figura 2: Impresora de sintetizado selectivo por laser	15
Figura 3: Técnica de sintetizado selectivo por laser	16
Figura 4: Técnica de LOM	17
Figura 5: Técnica de impresión 3DP	18
Figura 6: Impresión en FDM	18
Figura 7: Técnica FDM	19
Figura 8: Impresora Foodini	25
Figura 9: Impresión de comida de impresora foodini.	25
Figura 10: Fabricación con impresora 3D para medicamentos	26
Figura 11: Impresora FDM doméstica	27
Figura 12: Moldes de matriceria para frontales	30
Figura 13: plancha de acetato con nasal pegado	30
Figura 14: Maquina de control numérico	31
Figura 15: Frontal después de pasar por CNC.	31
Figura 16: Proceso de empotrado de charnelas	31
Figura 17: Bombos para pulir acetato	32
Figura 18: Maquina para insertar esqueleto metálico de varillas	33
Figura 19: Proceso de lima de junta de la varilla para ángulo pantoscopico	33
Figura 20: Ejemplo de montura de calibre grande.	35
Figura 21: Primer bloque de medidor de calibre	35
Figura 22: Segundo bloque de medidor de calibre	36
Figura 23: Medidor de calibres ensamblado	36
Figura 24: Diseño de regla de nasales	37
Figura 25: Proceso de diseño de regla de nasales	37
Figura 26: Regla para medir DNP's	39
Figura 27: Lentes gruesas por miopía alta	39
Figura 28: Ejemplo de anamnesis a realizar.	41
Figura 29: Proceso de diseño de la forma de la lente	44
Figura 30: Proceso de diseño del grosor de la montura	44
Figura 31: Simetría de AO con distancia determinada	45
Figura 32: Unión de aros de frontal con radios determinados	45
Figura 33: Primera forma de bloque frontal	45
Figura 34: Bloque frontal extruido	46
Figura 35: plano para dar curvatura facial al frontal	46
Figura 36: Extrusión de la plancha de curvatura e igualación de frontal en mismo Plano	47
Figura 37: Frontal de montura cortado con ángulo facial	47
Figura 38: Frontal de montura con bordes suavizados	48
Figura 39: Frontal con bisel para lente.	48
Figura 40: Frontal con inserción de charnelas	49

Figura 41: Detalle de aro izquierdo con inserción de plaqueta.	49
Figura 42: Diseño 2D y 3D de varillas.	49

Índice de tablas:

Tabla 1: propiedades de ABS	20
Tabla 2: propiedades PLA	20
Tabla 3: propiedades NYLON.	21
Tabla 4: Propiedades HIPS	22
Tabla 5: Propiedades PET	22
Tabla 6: comparativa de materiales en el mercado actual	24
Tabla 7: Comparativa de materiales plásticos utilizados en la actualidad para fabricación de monturas.	29
Tabla 8: relación entre nº puente y radio	38
Tabla 9: Ejemplo de cálculo de la fórmula 1	43

Índice de ecuaciones:

Ecuación 1: Determinación del calibre	43
Ecuación 2: Factor de aumento para crear el borde exterior de la montura	44

1. Historia de la impresión 3D.

El inicio de la impresión 3D se remonta a 1976, cuando se inventó la impresora de inyección de tinta. Desde entonces, la tecnología ha evolucionado para pasar de la impresión con tinta a la impresión con materiales, y la impresión 3D ha sufrido cambios durante décadas en diferentes ramas de la industria. En las siguientes líneas de tiempo, se señalan algunos de los acontecimientos más destacados. (artículo http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf de febrero de 2016)

1984: Charles Hull inventa la estereolitografía (SLA).

1986: Charles Hull patenta su invento y crea la empresa 3D Systems.

1987: Carl Deckard desarrolla el sinterizado selectivo por láser (SLS).

1988: Scott Crump inventa el modelado por deposición fundida (FDM), 3D Systems comercializa su primera impresora 3D.

1989: Se concede la patente del SLS. Scott Crump funda Stratasys y Hans Langer funda EOS GmbH.

1990: EOS vende su primer sistema de 'Stereos'.

1992: Stratasys patenta su tecnología de FDM.

1993: El MIT desarrolla la impresión 3D por inyección (3DP).

1995: Z Corporation (ahora parte de 3D Systems) obtiene la licencia de la 3DP.

1996: Z Corporation vende su primera impresora basada en la tecnología 3DP.

1997: Se establece la empresa ARCAM.

1998: Se crea Objet Geometries (adquirida posteriormente por Stratasys).

1999: El Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forrest implanta en humanos los primeros órganos modificados por medio de implantes arteriales impresos en 3D y cubiertos con células del paciente.

2000: MCP Technologies introduce la tecnología de fusión selectiva por láser (SLM).

2002: Se funda Envision Tecn. El Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forrest imprime el primer órgano en 3D; un riñón completamente funcional.

2005: Z corporation lanza el primer equipo de impresión 3D capaz de trabajar en color a alta definición. Se establece Exone como una spin-off de Extrude Hone Corporation y Sciaky Inc., siendo pioneros en el proceso aditivo basado en tecnología de

soldadura por haz de electrones (EBW). El Dr. Adrian Bowyer funda RepRap, una iniciativa open-source para crear una impresora 3D que pudiera imprimir sus propias partes, Stratasys lanza el servicio de Rapid Prototyping y 3D Printing Service Bureau.

2006: Se construye la primera máquina del tipo SLS. Object crea una máquina capaz de imprimir en varios materiales. El proyecto Fab@Home, de la universidad Cornell, ofrece la primera impresora 3D de código abierto (más tarde conocido como Open Source Hardware).

2007: Sale al mercado el primer sistema de 3D Systems por menos de 10.000 dólares. Sale a la luz la empresa Shapeways, la cual nace como un spin-off de Philips Research Lab., bajo la dirección de Peter Weijmarshausen.

2008: Desktop Factory es adquirido por 3D Systems. El proyecto RepRap lanza "Darwin", la primera impresora auto-replicante que puede imprimir la mayoría de sus componentes. Se desarrolla la primera prótesis de pierna impresa en 3D.

2009: Sale al mercado la primera impresora 3D comercializada en forma de kit, la cual se basa en el concepto RepRap. Makerbot Industries lanza al mercado kits para hacer tu propia impresora 3D.

2010: Kor Ecologic presenta "Urbee", el primer automóvil capaz de contar con la totalidad de su armazón impreso en 3D. La empresa Organovo Inc. (compañía de medicina regenerativa) se centra en la tecnología de bioprinting, anunciando la publicación de datos sobre los primeros vasos sanguíneos completamente bioimpresos.

2011: La Universidad de Exeter, junto con la Universidad de Brunel y el desarrollador de software Delcam, adaptan el sistema de impresión 3D Inkjet para la creación de objetos en chocolate. La Universidad de Cornell comienza a construir una impresora 3D para alimentos. Shapeways y Continuum Fashion anuncian el primer bikini impreso en 3D. La universidad de southampton fabrica el primer avión no tripulado impreso en 3D. en la conferencia de TEDMED 2011, el Dr. Gabor Forgacs (Organovo, Inc.), cocina y come carne producida mediante un proceso de bioprinting 3D.

2012: 3D Systems adquiere Z Corporation y Vidar Systems, Stratasys se fusión con Object Geometries. LayerWise realiza el primer implante de mandíbula inferior en 3D. La Universidad Tecnológica de Viena anuncia un gran avance: la "litografía de dos fotones". Essential Dynamics muestra "Imagine", su primera impresora de chocolate.

2013: Defense Distributed lanza "the liberator", la primera arma de fuego impresa en 3D. Robohand crea la primera prótesis de mano. La división de aviación de General Electric comienza a usar tecnologías de fabricación aditiva para producir componentes en motores de reacción. La NASA otorga una beca a la Systems & Materials Research Corporation (SMRC) para desarrollar una impresora 3D de alimentos. Natural Machines presenta "foodini", su prototipo de impresora 3D de alimentos. Stratasys adquiere Makerbot.

2014: Stanmore Implants fabrica un modelo a medida de una pelvis en 3D. Inc. realiza la primera venta de tejidos humanos bioimpresos (exVive3D). Grace Choi revela "Mink", la primera impresora 3D de maquillaje. Local Motors imprime en Chicago un coche en 3D, "Strati". Shangai Decoration Design Engineering Co. difunde su sistema de impresión 3D "Atlas", capaz de construir casas. Amazon abre su tienda de impresión 3D ofreciendo una amplia gama de productos. Hewlett Packard entra en el mercado de la impresión 3D con una nueva tecnología llamada Multi Jet Fusion. Autodesk anuncia que producirá su propia impresora 3D, llamada Ember SLA 3D. La NASA envía a la ISS "ZeroG", la primera impresora 3D capaz de crear objetos en ausencia de gravedad.

2. Aplicación de la impresión 3D en la actualidad

2.1. Técnicas de impresión 3D.

En este apartado describiremos las diferentes técnicas en la impresión tridimensional. Según [Gómez, S. et 2016]

2.1.1. Estereolitografía.

Esta técnica es considerada el origen de la impresión 3D con el primer modelo patentado en 1984 por Chuck Hull y la primera máquina comercializada por 3D Systems en 1988.

El prototipo físico se construye capa a capa a partir de la solidificación de un monómero fotosensible o resina líquida fotopolimerizable por la incidencia de una radiación luminosa (ultravioleta o del espectro visible). El láser sigue las secciones capa a capa definidas por el modelo virtual en 3D, en formato STL, y consigue solidificarlo. El polímero suele estar en una cubeta sobre la que se desplaza una plataforma con un movimiento descendente. Este movimiento coincide con el espesor de las capas fotopolimerizadas definidas según la resolución a obtener. En la etapa final la pieza necesita un postcurado en un horno para obtener una resistencia.

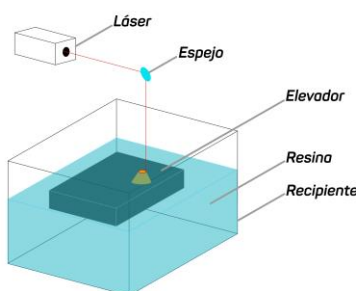


Figura 1: Técnica de estereolitografía.

<http://lafabricadeinventos.com/estereolitografia-sla/>

Esta técnica llega a conseguir piezas con un buen acabado superficial que puede mejorarse con ciertas resinas, con un espesor de capa definido y con máquinas más precisas. Además, se obtiene buena precisión dimensional y admite geometrías complejas con espesores de pared muy finos y gran nivel de definición de detalles. Con esta técnica se pueden utilizar gran cantidad de materiales o resinas con excelente resistencia mecánica y térmica.

Como inconvenientes podemos destacar el uso de resinas caras y tóxicas, la necesidad de crear soportes en las regiones con voladizos que pueden dejar marcas en la superficie de las piezas y la necesidad de un postcurado con la posibilidad de deformar la pieza creada. Además los prototipos creados son frágiles y translúcidos.

2.1.2. Sintetizado selectivo por láser (LSL).

El procedimiento de construcción se realiza capa a capa a partir de la fusión, por el aporte energético en forma de calor de un láser, de los granos de material en forma de polvo fino depositado y comprimido en un rodillo. El láser recorre las secciones de cada una de las capas a solidificar y calienta el polvo por encima de su temperatura de sinterización provocando la unión de los granos. Las zonas o regiones por las que el láser no pasa deja el polvo suelto, que se puede desprender con facilidad y se utiliza como elemento de soporte para la sinterización de las capas sucesivas, por lo que la técnica no precisa estructuras de soporte en la construcción de modelos con voladizos. Se puede imprimir en una gran cantidad de materiales: polímeros (PC, PA, PVC, ABS), cerámica y metal.



Figura2: Impresora de sintetizado selectivo por laser.

<https://tfmrimuned.wordpress.com/sinterizado-selectivo-por-laser-sls/>

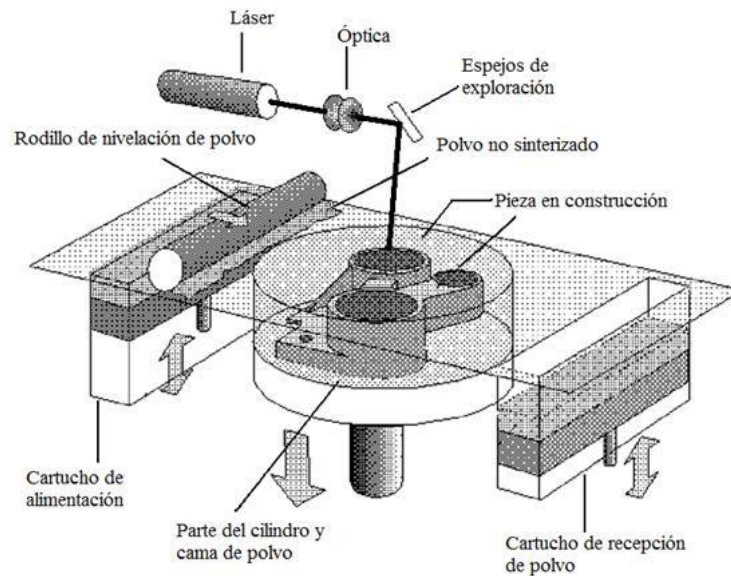


Figura 3: Técnica de sintetizado selectivo por laser.

<https://tfmrimunad.files.wordpress.com/2012/04/sls-nuevo.jpg>

Las principales ventajas del procedimiento son su precisión y la reproducción de geometrías complejas sin la necesidad de soportes ni eliminación de material sobrante. Además, no requiere postcurado y las piezas obtenidas tienen buenas propiedades mecánicas. Puede utilizarse con una gran variedad de materiales. Como inconveniente destaca el elevado precio de las impresoras y su lentitud de impresión. También se considera un inconveniente en algunos casos el aspecto poroso de la superficie

2.1.3. Fabricación mediante balística de partículas (BPM).

El material en estado fundido se proyecta en forma de gotas muy pequeñas (pulverizado) siguiendo la sección de cada una de las capas. El impacto de las gotas sobre la superficie consigue la solidificación. El proceso se realiza en vacío o en atmósfera de nitrógeno (N₂) para evitar la oxidación.

Es un procedimiento económico, ecológico, no requiere soportes ni posprocesado y además dispone de varios materiales y colores. Se emplean materiales de baja temperatura de fusión (termoplástico, aluminio, etc.). Como inconveniente destaca la fragilidad de las piezas obtenidas y la necesidad de una atmósfera inerte en su procesado. Además, solo dispone de un número reducido de materiales.

2.1.4. Fabricación laminada (LOM).

La obtención del modelo se realiza capa a capa a partir de la adhesión de láminas, unas sobre otras, y el recorte de las mismas mediante haz láser (CO2) o cuchillas siguiendo los contornos definidos por el fichero CAD 3D. Se utiliza papel autoadhesivo plástico o composite alimentado por rollo que se pega a la capa anterior. El papel sobrante se elimina.

Es una técnica de impresión 3D rápida que ofrece una buena precisión. Se puede utilizar con un gran número de materiales, no requiere postcurado y tampoco son necesarios los soportes de impresión. Sin embargo, las piezas impresas no tienen un excelente acabado superficial, es difícil definir huecos interiores y se desperdicia una gran cantidad de material.

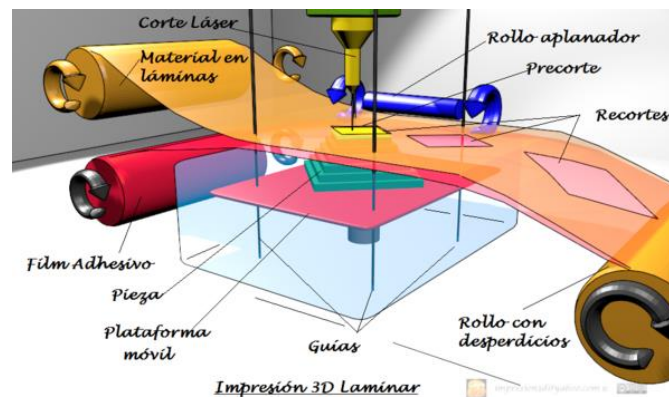


Figura 4: Técnica de LOM

<http://reprap.org/wiki/Introducci%C3%B3nALaImpresi%C3%B3n3D>

2.1.5. Printing (3DP).

El modelo se obtiene a partir de la adición capa a capa de un material en forma de resina o polvo (polímero, cerámico o metal) que se compacta y cohesiona por la deposición de un aglutinante siguiendo las distintas secciones del modelo CAD 3D. Las principales ventajas son la gran velocidad de impresión y la posibilidad de imprimir en varios colores. Como inconvenientes cabe mencionar la poca precisión, la baja calidad superficial media, la necesidad de postcurado y del empleo, en algunos casos, de soportes de impresión.

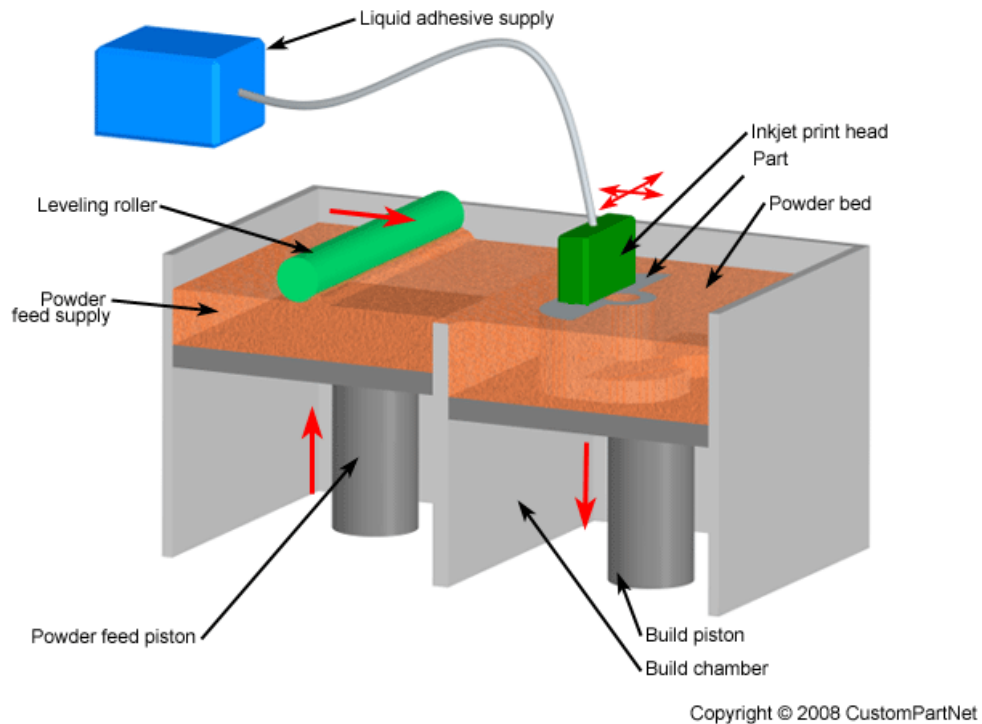


Figura 5: Técnica de impresión 3DP.

<http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/3dp.png>

2.1.6. Modelado por deposición fundida (FDM).

El procedimiento deposita un material fundido (ABS, PLA o PA, entre otros) sobre capas enfriadas con el fin de garantizar su rápida solidificación y su endurecimiento. La deposición del material fundido se realiza a través del cabezal extrusor que recibe el filamento de una bobina. Es uno de los procedimientos de bajo coste más empleados y extendidos en la actualidad.

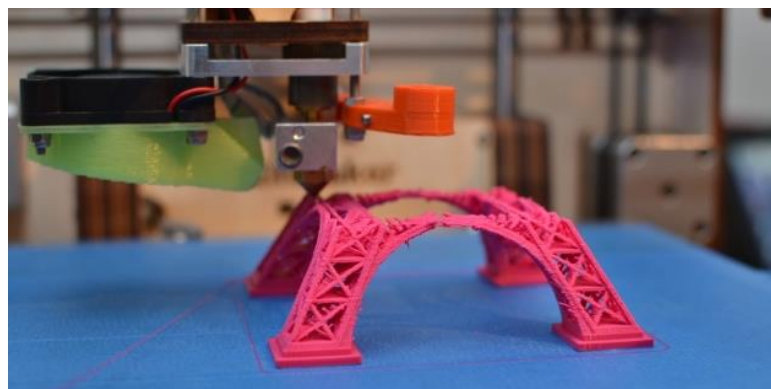


Figura 6: Impresión en FDM

<http://www.ratolinformatic.es/las-mejores-impresoras-3d-principiantes/>

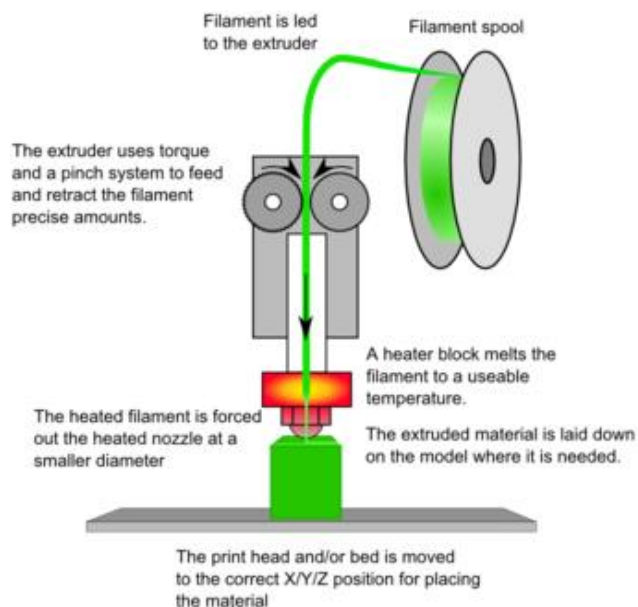


Figura 7: Técnica FDM

<https://felipecarlosrodriguez.files.wordpress.com/2014/03/400px-fff.png>

Las ventajas del FDM son muchas: una gran variedad de materiales disponibles, impresoras económicas y pequeñas (de escritorio o sobremesa), no se producen residuos (tan solo en los soportes de impresión) y la impresión de piezas huecas o muy poco porosas es rápida. El principal inconveniente es la necesidad de crear soportes o estructuras de apoyo en las caras inclinadas (con voladizo), la baja resistencia de las piezas impresas en el eje Z (dirección de impresión de las capas) y su lentitud cuando se desean obtener modelos macizos y de gran tamaño.

2.2. Materiales utilizados en impresión 3D FDM.

El filamento que se utiliza en las impresoras 3D se vende en bobinas y en ellas se especifica el tipo de polímero, su temperatura de trabajo, temperatura de la cama, base o plataforma calefactada y su diámetro (1.75 o 3mm). El filamento de 3mm es el más ampliamente utilizado, pero poco a poco está siendo desplazado por el de 1.75mm debido a su facilidad de arrastre. Estos datos son necesarios para configurar la temperatura del fundido del filamento a través del extrusor y la temperatura de la base en la que se van a imprimir las capas sucesivas del modelo. Es importante en este último caso regular bien dicha temperatura para facilitar el pegado de las primeras capas y evitar su desplazamiento, o evitar los problemas de deformación. [Gómez, S. et 2016].

- **ABS (acrilonitrilo butadieno estireno):** Termoplástico amorfo copolímero formado por tres monómeros distintos: acrilonitrilo, butadieno y estireno. Es un polímero empleado en la fabricación de las piezas Lego y se caracteriza por su elevada resistencia al impacto, resistencia mecánica, dureza rigidez y

tenacidad. Esta última es consecuencia de los monómeros de butadieno que, al ser un material elastomérico, proporciona tenacidad incluso a bajas temperaturas (sigue siendo tenaz a -30°). También presenta buen comportamiento a la abrasión y es resistente al ataque de ciertos productos químicos. Además, se puede pintar y pegar con adhesivos. No es un material biodegradable, es soluble en acetona y se degrada con la radiación ultravioleta (UV), por lo que no es adecuado para fabricar piezas de exterior. Durante el proceso de fusión el ABS emite gases nocivos que obligan a tener la impresora en lugar aireado.

Alargamiento en la rotura (%)	45
Coefficiente de fricción	0.5
Módulo de elasticidad (GPa)	2.3
Resistencia a tracción (Mpa)	41-45
Coefficiente de Poisson	0.33
Resistencia al impacto (kJ m^{-2})	14
Temperatura de transición vítrea	110°
Densidad (gr cm^{-3})	1.05

Tabla1: propiedades de ABS

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

- **PLA (ácido poliláctico):** un poco más blando que el anterior pero muy bueno para reproducir figuras intrincadas. Esto es debido a que al fundirse es mucho más fluido por lo que es capaz de representar mejor los detalles de las piezas. Aguanta temperaturas de hasta 65° . Es biodegradable lo que lo convierte en un material muy ecológico y no desprenden vapores que molesten durante la impresión. Es apto para todo tipo de impresoras 3D. Sus características mecánicas son

Alargamiento en la rotura (%)	35
Coefficiente de fricción	0.3
Módulo de elasticidad (GPa)	3.37
Resistencia a tracción (Mpa)	48
Coefficiente de Poisson	0.3
Resistencia al impacto (kJ m^{-2})	5
Temperatura de transición vítrea	65°
Densidad (gr cm^{-3})	1.25

Tabla 2: propiedades PLA

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

- **FILAFLEX:** Termoplástico elastómero con base de poliuretano y aditivado para hacerlo flexible e imprimible. Se puede estirar hasta un 600% de su tamaño original sin romperse. Se emplea en la impresión de suelas de zapatillas, topes, junturas, pulseras de relojes, etc. Es resistente a la acetona y otros disolventes. Admite su impresión dual con otros polímeros más rígidos con la finalidad de fabricar piezas bimateriales o compuestas.

- **NYLON.:** poliamida patentada por los laboratorios DuPont en 1938 y comercializada como una fibra sintética fuerte y elástica. Como filamento es una alternativa al ABS y al PLA por su Resistencia y flexibilidad.

Su problema radica en la dificultad que presenta para adherirse a la bandeja o plataforma, por lo que se aconseja imprimir sobre Garolite o Tufnol. Además, al ser higroscópica es recomendable secar la bobina en un horno unas horas antes de su uso para evitar que se humedezca (grandes deformaciones).

Se recomiendan temperaturas de impresión de entre 225 y 240°. Los materiales de la superficie de impresión deben ser distintos al vidrio porque el nylon no se adhiere correctamente.

Alargamiento en la rotura (%)	50
Coeficiente de fricción	0.3
Módulo de elasticidad (GPa)	3
Resistencia a tracción (Mpa)	78
Coeficiente de Poisson	0.39
Resistencia al impacto (kJ m ⁻²)	3.8
Temperatura de transición vítrea	70°
Densidad (gr cm ⁻³)	1.13

Tabla 3: propiedades NYLON.

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

- **LAYWOOD.:** Filamento formado por una mezcla de fibras de madera y polímero. El polímero le confiere flexibilidad, mientras que las fibras dan color y el aspecto típico de la madera.

Las temperaturas de impresión oscilan entre 180 y 220°, siendo la temperatura de la plataforma de entre 40 y 50°. El acabado superficial obtenido, al igual que en el caso del Laybrick, depende de la temperatura utilizada.

- **PVA (alcohol de polivinilo):** El acetato de polivinilo es un polímero hidrosoluble que se disuelve en agua, por lo que se emplea en la creación de estructuras de soporte o apoyo para PLA y ABS en impresoras con doble extrusor. Su temperatura de impresión oscila entre los 180 y los 200°.
- **HIPS (poliestireno de alto impacto):** es un polímero termoplástico parecido al ABS en su resistencia mecánica y térmica con un acabado muy fino que se puede pintar con acrílico. Una de las desventajas es su degradación frente a la radiación UV.

Se disuelve con D-limoneno (hidrocarburo transparente con fuerte olor a naranja), por lo que se puede utilizar como soporte en piezas con voladizo ya que se elimina fácilmente después de su impresión. Uno de sus principales usos es la impresión de HIPS como elemento de soporte junto al ABS en impresoras con doble extrusor por la insolubilidad del ABS en limoneno, de la misma forma que se emplea el PVA con el PLA.

Alargamiento en la rotura (%)	52
Coeficiente de fricción	0.20
Módulo de elasticidad (GPa)	1.65
Resistencia a tracción (Mpa)	24
Coeficiente de Poisson	0.39
Resistencia al impacto (kJ m ⁻²)	5.13
Temperatura de transición vítrea	94°
Densidad (gr cm ⁻³)	1.04

Tabla 4: Propiedades HIPS

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

- **HDPE (polietileno de alta densidad):** El polietileno de alta densidad es un polímero olefinico parecido al polipropileno empleado en la fabricación de envases. No es el material más adecuado en la impresión por deposición fundida si desea imprimir con cierta precisión por su elevada contracción posterior al enfriamiento. Sin embargo, es un filamento muy atractivo porque se puede reciclar.
- **PET (tetraftalato de polietileno):** es un termoplástico lineal, con alto grado de cristalinidad que se caracteriza por su elevada resistencia al desgaste, al impacto y a la corrosión. Su transparencia permite que se utilice en la fabricación de envases para alimentación.

Como filamento en las impresoras FDM se emplea a unos 220° con base caliente de aproximadamente 60°. Se debe refrigerar una vez extruido para mantener la transparencia.

Alargamiento en la rotura (%)	15
Coeficiente de fricción	0.3
Módulo de elasticidad (GPa)	2.9
Resistencia a tracción (Mpa)	65
Coeficiente de Poisson	0.41
Resistencia al impacto (kJ m ⁻²)	3.6
Temperatura de transición vítrea	60°
Densidad (gr cm ⁻³)	1.38

Tabla 5: Propiedades PET

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

- **PC (policarbonato):** termoplástico de gran resistencia, resistencia al impacto y rigidez, caracterizado por su gran transparencia y excelente estabilidad dimensional. Se puede reciclar pero no es biodegradable. La comercialización de este filamento para impresoras FDM es escasa y las bobinas todavía son caras.

Las temperaturas de impresión oscilan entre 280 y 305°.

- **LAYBRICK.:** filamento fabricado a partir de componentes de yeso y plástico con acabado parecido a la arenisca. Se emplea para crear impresiones con texturas de piedra con distintos acabados superficiales (lisos y rugosos) en la impresión de maquetas arquitectónicas.

Se recomiendan temperaturas de impresión a partir de 180°. A mayores temperaturas el acabado es mejor. No es necesario tener la base calefactada y con laca es suficiente para garantizar la correcta adhesión. Por su fragilidad es recomendable retirar las piezas de la plataforma de impresión con mucho cuidado después de su impresión. El Laybrick endurece con el tiempo (2 y 4h) y se consiguen dureces muy elevadas.

- **SOFT PLA:** Termoplastico biodegradable y reciclable de origen natural. Se caracteriza por tener propiedades flexibles que permiten doblar los modelos impresos sin que se lleguen a romper. La temperatura de impresión oscila entre 200 y 220°, y la de la plataforma entre 25 y 60°.

Filamento	Temperatura de impresión (°C)	Temperatura de la base (°C)	Superficie de impresión.	Propiedades
ABS	185-235	90-110	Kapton*	Resistencia al impacto, dureza, rigidez y tenacidad.
PLA	195-220	20-60	Vidrio y Kapton	Biodegradable, variedad de colores.
PVA	180-200	50	Cinta de pintor azul**	Estructuras de soporte por ser soluble en agua.
HIPS	220-235	115	Kapton	Resistencia mecánica y térmica
HDPE	225-230	Ambiente	Polipropileno	Reciclable
PET	210-220	20-65	Vidrio, Kapton	Resistencia mecánica, desgaste y corrosión.
PC	280-305	85-95	Kapton	Resistencia y rigidez.
NY	225-240	Ambiente	Garolite y Tufnol	Resistencia y flexibilidad
Laybrick	165-230	Ambiente	Cinta de pintor azul	Acabado cerámico.
LayWood	180-220	40-50	Cinta de pintor azul	Acabado madera.
Soft PLA	220-230	25-60	Vidrio	Flexible y biodegradable.
Bendlay	215-240	Ambiente	Vidrio y Kapton	Flexible transparente
FilaFlex	220-230	Ambiente	Vidrio	Flexible.
NinjaFlex	200-215	40	Vidrio	Flexible
Glow in the Dark	160-230	60	Vidrio	Fluorescente.
T-Glass	210-224	Ambiente	vidrio	Transparente.

Tabla 6: comparativa de materiales en el mercado actual.

Página 199 del libro "Impresión 3D"

***es una cinta de poliamida resistente al calor y eléctricamente aislante.**

****cinta de pintor que no deja ningún tipo de residuo adhesivo.**

3. Àmbitos de aplicació de impressió 3D.

Hoy en día la impresión 3D tiene múltiples aplicaciones y cada día aparecen de nuevas, ahora veremos una pequeña introducción de diferentes sectores en los que se utiliza. [Gómez, S. et 2016]

- Alimentación y farmacia.

La NASA trabaja junto a la empresa Systems and Materials Research Corporation (SMRC) en la fabricación de una impresora 3D para la impresión de alimentos en el espacio para los futuros viajes tripulados.

La empresa española Natural Machines ha desarrollado una impresora 3D de comida (Foodini) que permite imprimir alimentos dulces o salados en tres dimensiones, como hamburguesas, panes, chocolate o pasta. La impresora funciona con conexión a internet, y a partir de una pantalla táctil se pueden elegir recetas o diseñar un plato original.



Figura 8: Impresora Foodini

<http://www.gadget.com/wp-content/uploads/2014/03/foodini.jpg>

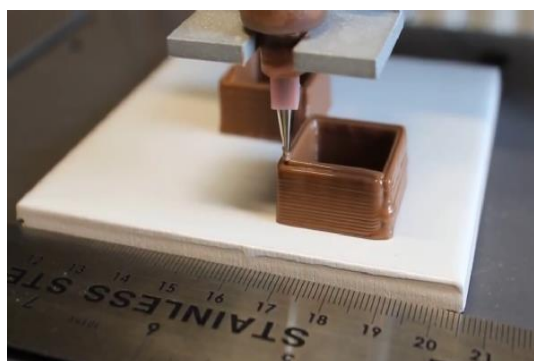


Figura 9: Impresión de comida de impresora foodini.

<http://www.blackvibes.com/images/blogs/1-2014/29310-technology-3d-print-y.jpg>

la FDA (U.S. Food and Drug Administration) ha aprobado la producción por impresora 3D de un medicamento para la epilepsia (Spritam). La impresión capa a capa del polvo del medicamento facilita no solo la posibilidad de ajustar la dosis en función del paciente, sino su disolución después de ser ingerida debido al proceso de fabricación de la pastilla.

(<http://news.mit.edu/1997/pills>)

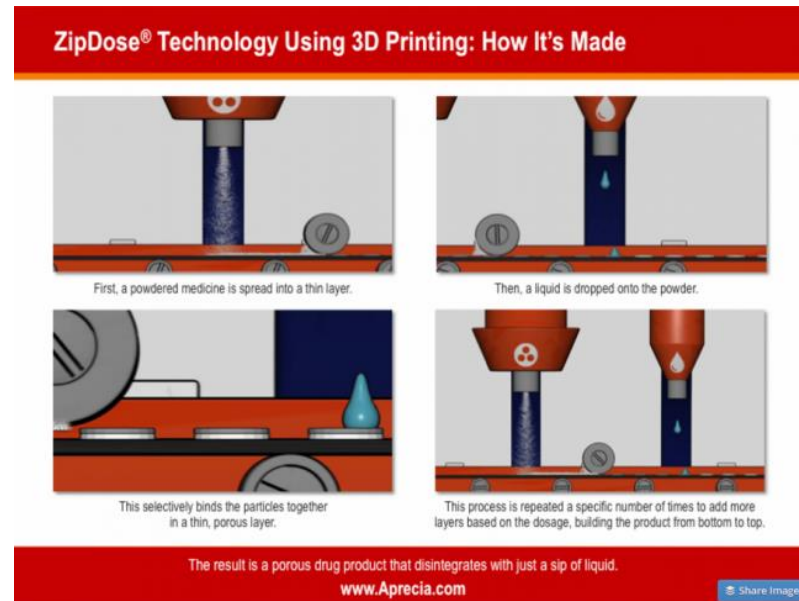


Figura 10: Fabricación con impresora 3D para medicamentos.

http://api.rue89.nouvelobs.com/sites/news/files/styles/mobile2-tablette-asset-center/public/assets/image/2015/08/capture_decran_2015-08-18_a_08.37.45.png

- Ámbito doméstico:

El movimiento RepRap, junto a la aparición de MakerPlace de impresión 3D, ha permitido compartir el conocimiento de la tecnología de la impresión 3D tipo FDM. Actualmente se pueden adquirir impresoras domésticas por 500€, e incluso construir a partir de kits de montaje y software gratuito por un precio inferior.

Nike anuncia que en un futuro sus clientes podrán imprimir en 3D sus zapatillas en su propia casa y según sus propias preferencias.

El abaratamiento de las impresoras prevé una multiplicación de la personalización de productos de consumo: juguetes, calzado, muebles y decoración, entre otros.

Uno de los principales usos de las impresoras 3D en el ámbito doméstico es la impresora de piezas de repuestos después de su rediseño o escaneo 3D. en repositorios como Thingiverse, que depende de MakerBot y que es uno de los mayores del mundo, también se pueden encontrar piezas de repuestos.

Actualmente cuenta con mas de 30.000 modelos 3D y ya se han descargado unos 10 millones de archivos.



Figura 11: Impresora FDM doméstica.

<http://cde.peru21.pe/ima/0/0/1/3/1/131070.jpg>

- Aeronáutica.

Airbus está empezando a dar forma al futuro de la fabricación de componentes de aeronaves para sus aviones. En el modelo Airbus A350 XWB, con más de seis millones y medio de piezas, hay más de 6500 que se pueden fabricar por impresión 3D. El objetivo es reducir el peso y el coste final de la pieza enviando la fabricación de moldes y utillajes, la mecanización o los cortes.

La Agencia Espacial Europea (<http://www.esa.int>) ha diseñado la impresora POP3D para la Estación Espacial Internacional. Se trata de una impresora compacta con forma de cubo, unas dimensiones de 25 x 25 x 25 cm y 5,5 kg de peso. Imprime en plástico biodegradable PLA con la tecnología FDM (modelado por deposición fundida)

La Agencia Espacial Americana, NASA (<http://www.nasa.gov>) está trabajando en el proyecto Impresión 3D en gravedad cero (3D Printing In Zero-G). Los estudios del proyecto han demostrado que la impresora 3D funciona con normalidad en el espacio a pesar de la baja temperatura y la ausencia de gravedad. Es el primer paso para imprimir algunas piezas de repuesto de la Estación Espacial Internacional y un aspecto indispensable de cara a las futuras misiones tripuladas.

La Agencia Espacial Americana (NASA) imprime un prototipo de motor de coche en 3D con una potencia superior a nueve toneladas (<http://www.nasa.gov>).

Boeing (<http://www.boeing.com>) y GE Aviation (<http://www.geaviation.com>) utilizan impresoras 3D para fabricar algunas de las piezas de los motores a reacción más grandes y potentes del mundo (GE90-94B), inyectores de combustible y otras piezas para el motor GE9X de nuevos modelos 777X Boeing. El GE9X está considerado el mayor motor a reacción construido.

- Automoción.

La escudería de F1 Williams (<http://www.geaviation.com>) colabora con EOS (<http://www.eos.info/automotive>) en el uso de las tecnologías de fabricación aditiva en el mundo de la Formula 1 para la fabricación avanzada de piezas para sus monoplazas.

La empresa Local Motors (<https://localmotors.com>) ha desarrollado el LM3D Swim, uno de los primeros prototipos de coches impresos en 3D. El precio final es de 50.000 euros y prácticamente el 80% del mismo se imprime con una mezcla de 80% de ABS y un 20% de fibra de carbón. Su impresión se realiza en microfábricas que la empresa está distribuyendo por todo el mundo.

La empresa 3TRPD (<http://www.3trpd.co.uk>) imprime una caja de cambios para coches de carreras un 30% más ligera que las actuales.

- Deportes.

Adidas, Nike, New Balance diseñan suelas de calzado deportivo para ser impresas en 3D con materiales poliméricos capaces de absorber el impacto de la pisada. EN el caso de New Balance, su alianza con Nervous Systems (<http://n-e-r-v-o-u-s.com>) ha permitido diseñar suelas con porosidad variable en distintas regiones.

El equipo de esgrima japonés ganó la medalla de plata en los Juegos Olímpicos de 2012 con espadas cuyas empuñaduras se imprimieron en 3D. La impresión se realizó en la Universidad de Tsukuba con la impresora 3D Objec350 Connex de la empresa Stratasys (www.stratasys.com)

- Medicina y biología.

La empresa Materialise (<http://materialise.com>) y la Universidad de Michigan (www.umich.edu) firman un acuerdo de colaboración para diseñar férulas traqueales por impresión 3D adaptadas a los pacientes.

Los veterinarios implantan prótesis impresas en 3D en animales. En Thingiverse pueden descargarse sillas de ruedas para perros (<http://www.thingiverse.com>).

Se diseñan y comparten en la red prótesis de mano y pie impresoras en 3D para humanos.

El centro de investigación Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL, USA) trabaja en la impresión de tejido humano con vasos sanguíneos mediante bioimpresión 3D biocompatible con el cuerpo humano. (www.llnl.gov)

4. Procesos industriales de fabricación de monturas convencionales.

Es interesante observar, cuando se visita una fábrica de monturas, la escasa automatización que se encuentran en los procesos de fabricación, comparado con otras actividades industriales. Esto se debe a que esta actividad requiere una diversidad de diseños, modelos, colorido, y novedades según tendencias de moda de cada temporada; siendo los procesos de fabricación entre ellos muy diversos, y en modelos de diseños muy exclusivos es imposible su automatización.

4.1. Selección del material.

El material que se elige en cada gafa tiene que seleccionarse según la función que tenga la misma, es decir, no será el mismo material una gafa de uso deportivo que una gafa de uso habitual. Siguiendo con el ejemplo, la gafa de uso deportivo será de un material plástico, resistente a impactos y con cierta versatilidad; en cuanto a la gafa de diario debe tener características estéticas y de comodidad, como por ejemplo el peso.

Materiales plásticos						
	Unidades	Acetato	Propionato	Poliamida	Resina epoxi	Fibra de carbono
Densidad	Gr./ cm	1,3	1,22	1,04	1,1	1,5
Temperatura conformado	°C	80-100	80-115	50-80	100-130	110-120
Temperatura deformación	°C	130	150	110	250	120-260
Resistencia a la tracción	N/mm	30-50	30-50	75	75	1800
Resistencia al impacto	HVC60 n/mm	50-80	50-80	130	130	muy alta
Absorción de agua	%	4,2	2,6	1,2	0,2	0,2
Reparación		Disolvente	Disolvente	no	pegado	no
Resistencia sudor, cosméticos		Media	Alta	Alta	Según protector	Según protector

Tabla 7: Comparativa de materiales plásticos utilizados en la actualidad para fabricación de monturas.

http://www.fabricaciondegafas.com/Datos_tecnicos_materiales.htm

4.2. Proceso de diseño.

Los trabajos de matricería, así como los prototipos, se realizan manualmente por operarios altamente especializados, utilizando maquinaria y herramientas distintas a las empleadas en la fabricación en serie.



Figura 12: Moldes de matriceria para frontales.

<https://histoptica.com/apuntes-de-optica/monturas/introduccion-a-las-monturas/fases-y-procesos/>

4.3. Mecanizado:

La primera operación que se realiza es rebajar el acetato a un espesor determinado ya que se recibe con dispersiones entre las planchas, esa dispersión viene siendo sobre un 5% del espesor nominal, un acetato de 6mm de nominal se puede recibir entre 6 y 6,3mm.

A continuación, se cortará un rectángulo que circunscriba las medidas del frente.

La fase siguiente consiste en pegarle unos tacos de acetato en la zona central, que posteriormente una vez fresada la forma, serán las plaquetas, estos tacos se pegan con cola de alta frecuencia.



Figura 13: plancha de acetato con nasal pegado.

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

En las dos operaciones siguientes por medio de maquinaria de control numérico se fresa la forma interior donde se alojarán las lentes y en la siguiente se fresa la forma exterior.



Figura 14: Maquina de control numéricoFigura 15: Frontal después de pasar por CNC.

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

El frontal esta plano, salido de las operaciones anteriores, la fase siguiente consiste en curvar el frente para que se adapte a la forma de la cara, esa curva es de 5 a 8 grados, la curva que se hace para las gafas de sol es muy superior llegando a 20 grados según sea el diseño.

Para poder sujetar las varillas y que tengan movimiento se colocan 2 medias bisagras en la zona de talones, estas se colocan calentando las mismas y presionando para que entren en el acetato

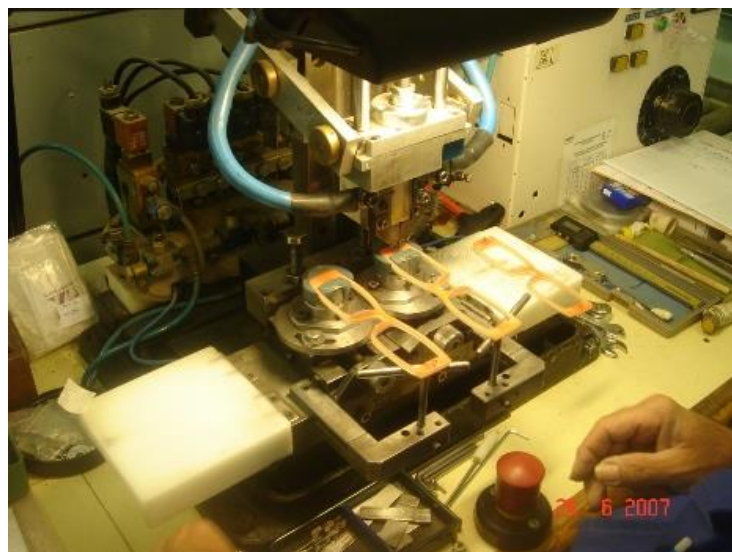


Figura 16: Proceso de empotrado de charnelas.

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

los frentes en estos momentos además del acetato llevan incorporadas las bisagras para que se puedan pulir por medios mecánicos, en los bombos se tienen que proteger las bisagras con un protector de silicona.

Una vez protegidas las bisagras, los frentes se introducen en unos tambores (bombos) que rozando con unas maderas y abrasivo pulen la superficie, esta operación se hace en 4 fases, cada una de ellas desde la primera fase a la cuarta el abrasivo es de menor intensidad. En el interior de los bombos rozando y dando vueltas, están 4 días (diferentes fases), este proceso, aunque parezca primitivo se lleva haciendo desde hace unos 40 años.



Figura 17: bombos para pulir acetato.

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

Ahora llega el turno a las varillas. La primera operación es similar a la primera para la fabricación de frentes, se corta un rectángulo igual o superior al rectángulo que circunscribe la forma de la varilla. Posteriormente se fresa la forma de la varilla en una máquina de control numérico.

En la siguiente fase se introduce el alambre en la varilla, para ello se calienta la está por medio de alta frecuencia, el calor se le da en la parte central con el objetivo que el alambre se desplace por el centro de la varilla.

Una vez caliente, se coloca la varilla y el alambre en una máquina, como la que se muestra a continuación, se acciona esta y un embolo presiona el alambre introduciéndose en el acetato.



Figura 18: Maquina para insertar esqueleto metálico de varillas
<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesovarillas.htm>

En la fase siguiente se curvará la zona de adaptación, esta operación se podrá hacer en el momento o al final del proceso, es será más conveniente hacerla antes para evitar problemas de rotura del material al final del proceso.

La fase de pulido será igual que en los frontales anteriormente descritos, se cubrirá la otra media bisagra con silicona y meteremos las varillas en los bombos los 4 días.

4.4. Acabados.

En esta parte del proceso se recibirán los frentes y las varillas pulidas, también se montarán elementos metálicos fabricados en el exterior.

La primera operación que se realizara es montar las varillas con el frontal, para ello se fresarán las varillas y frontales en la zona de unión, en esta operación es donde se fijara la inclinación del frontal con respecto a las varillas, esta tendrá mucha importancia para que la gafa, una vez montadas las lentes, tenga la inclinación adecuada (para lentes monofocales menor inclinación que para lentes progresivas).



Figura 19: Proceso de lima de junta de la varilla para ángulo pantoscopico.
<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesoacabados.htm>

La operació següent consistirà en unir les varilles al front per mitjà de tornillos i fer un bon asentament de les varilles amb el frontal.

En esta operació se pulirà manualment tota la superfície de la gafa, degut a que després de les manipulacions que sofrirà, tindrà imperfeccions en la superfície

5. **Creació de una montura por impresión 3D.**

En este punto se describirà pas a pas una forma de creació de montures diferent a la convencional. En la convencional, com se ha vist en el apartat anterior, se fabrica, en funció d'un estudi previ, un prototip estàndar. En canvi, en este nou protocol de fabricació lo que farem es dissenyar una montura en funció de les necessitats de correcció òptica, fisionomia i gustos del usuari. Però abans de posar-nos a veure com seria este protocol hem creat unes diferents eines, i altres que ja tenim en el nostre dia a dia, per poder realitzar un disseny a mida de cada usuari.

5.1. Prototipos para la toma de medidas.

- Medidor de calibres.

Esta herramienta, como su nombre indica, nos permitirá saber la medida exacta que tiene el usuario de sien a sien esto nos permitirá tener la medida de como deberá ser de ancha la montura. Esta medida es importante porque influirá mucho en cómo se ajustará la gafa a nuestro usuario, una gafa grande o pequeña tendrá consecuencias negativas en la comodidad, el ajuste, y la estética.

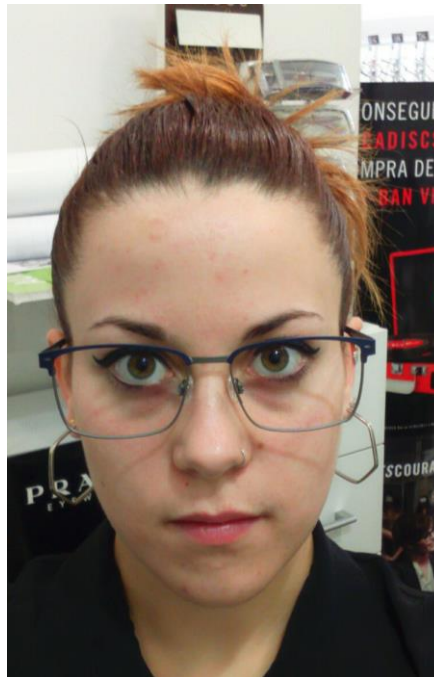


Figura 20: Ejemplo de montura de calibre grande.

El diseño de esta herramienta será muy sencillo, consta de dos partes, la primera es la estructura que se apoya sobre la sien derecha del usuario y que tiene un orificio en la parte superior, como se muestra en la siguiente imagen.

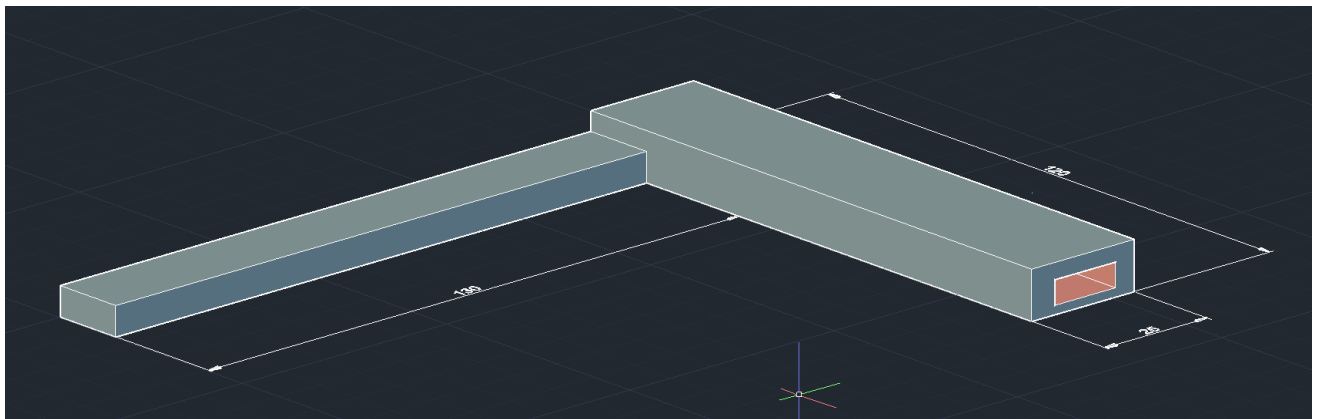


Figura 21: Primer bloque de medidor de calibre

La segunda parte de la herramienta será la pieza que se apoye en la otra sien del usuario y encajando con el orificio de la primera. En esta pieza pondremos la escala que utilizaremos para medir el total de sien der. -sien izq. Como se ve en la imagen a continuación.

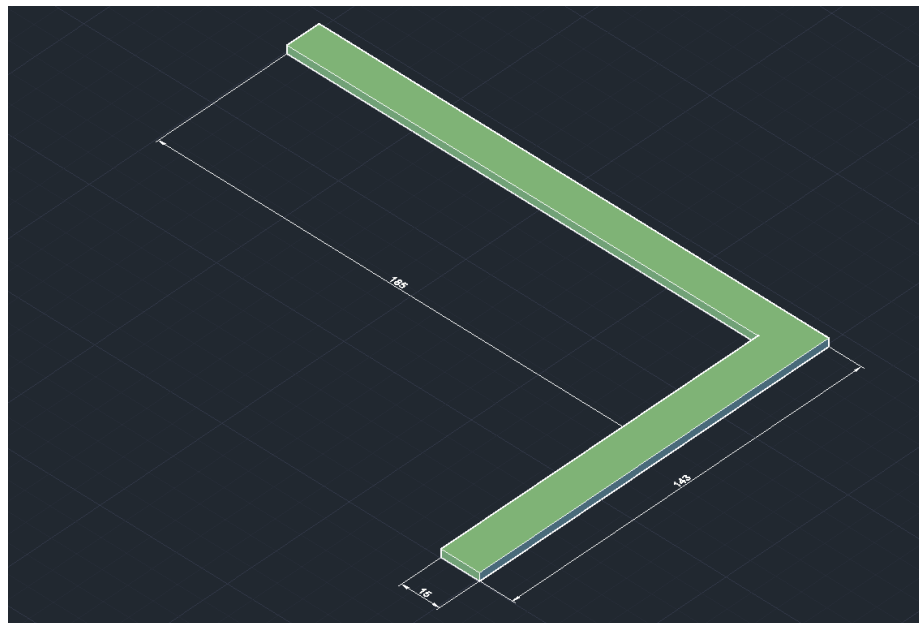


Figura 22: Segundo bloque de medidor de calibre.

Una vez unidas las dos piezas formaran la herramienta completa con muy fácil movilidad y precisión para poder hacer la medida necesaria.

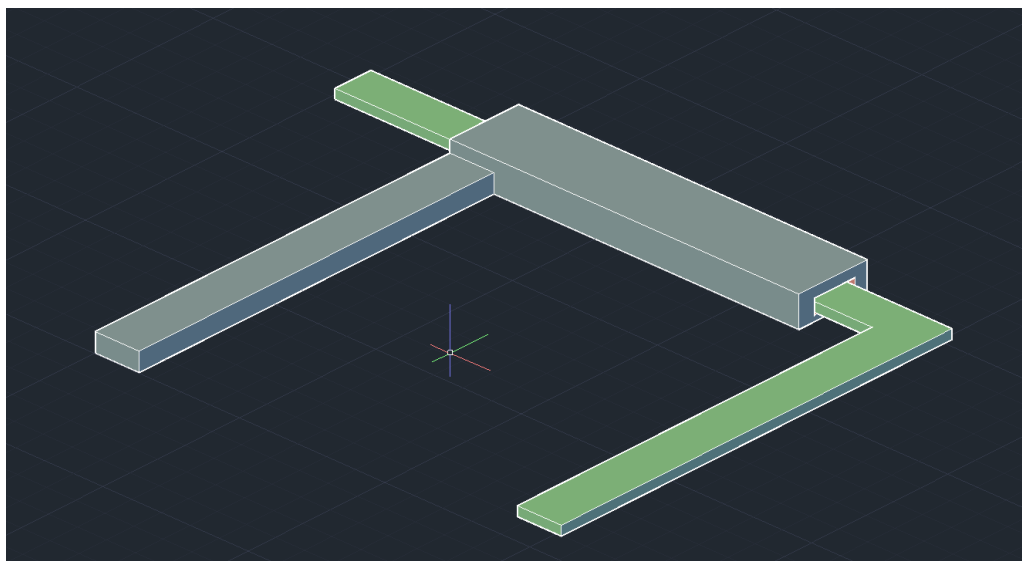


Figura 23: Medidor de calibres ensamblado.

- Medidor de nasales.

En las monturas que podemos elegir en cualquier óptica están diseñadas con un puente nasal en concreto, pero no todos tenemos igual el nasal, así que a la hora de elegir te puede gustar mucho una montura, pero si no te adapta el nasal no será una gafa correcta, es decir, no será cómoda ni estética. Por este motivo se ha diseñado una regla con diferentes puentes nasales, para que elijamos el modelo o forma que queramos poderla adaptar correctamente. A continuación, veremos la regla diseñada.

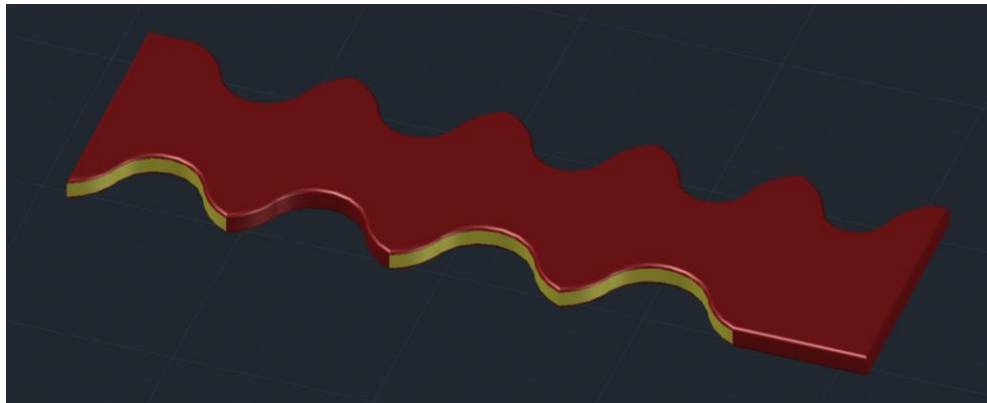


Figura 24: Diseño de regla de nasales.

En la imagen anterior vemos la regla con oberturas iguales que un nasal de gafa, cada uno de estos orificios tiene una longitud determinada para poder determinar el puente necesario. En nuestro caso hemos diseñado 9 gafas de forma igual, pero con diferente longitud entre los dos aros de la montura. con esto conseguimos que la unión de estos tenga un radio diferente en cada caso, dándonos 9 puentes distintos, desde 13 a 21.

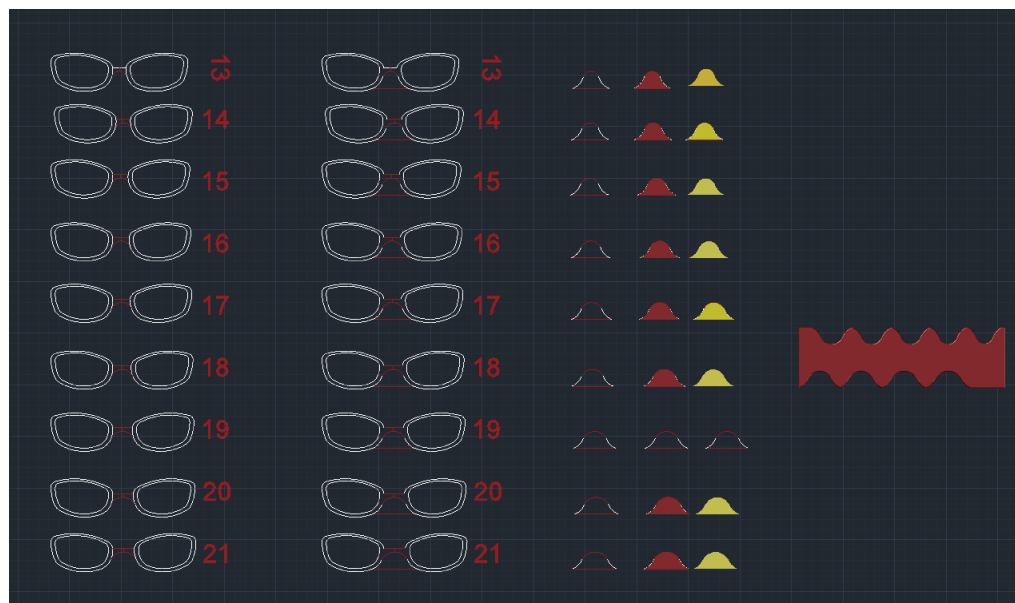


Figura 25: Proceso de diseño de regla de nasales

A continuación, veremos la tabla que diseño para relacionar los puentes con los radios de curvatura de los mismos.

Nº de puente	Radio (mm)
13	8
14	8.7
15	9.5
16	10.2
17	11
18	11.7
19	12.5
20	13.3
21	14.1

Tabla 8: relación entre nº puente y radio.

El uso de esta regla es muy sencillo, simplemente iremos colocando cada orificio de la regla en la nariz de nuestro usuario hasta encontrar el que mejor se le adapte.

En el caso de tener un caso especial que no le encaje uno de nuestros puentes estándar, ya sea por una asimetría en el hueso de la nariz o que tenga un puente especialmente estrecho o ancho, tendríamos la posibilidad de hacer un molde para poder escanearlo e insertarlo en nuestra montura, este molde podría ser de la misma espuma que se utiliza para hacer los moldes de audio prótesis, pero este tema no lo tocaremos en este trabajo.

-Medición de DNP.

Otra de las herramientas que utilizaremos para nuestro diseño será una regla de medición de DNP, esta regla no había que crearla ya que es herramienta necesaria para cualquier optometrista o persona que se trabaje en un establecimiento de óptica.



Figura 26: Regla para medir DNP's.

Esta es una medida importante a tener en cuenta porque según sea la graduación de nuestro usuario y su DNP tendremos que aconsejar unas formas concretas. Por ejemplo, una persona con astigmatismo no es ideal diseñar una gafa completamente redonda o la lente podría girar con cierta facilidad, o una persona con una miopía alta y DNP's pequeñas no es recomendable un diseño cuadrado y ancho porque la lente sobresaldrá mucho de la montura, etc.



Figura 27: Lentes gruesas por miopía alta.

<http://g01.a.alicdn.com/kf/HTB1VmLtlVXXXXcRXFXXq6xXFXXXx/por-Encargo-Disponible-Fashion-de-Se%C3%B1ora-Girl-Women-Alta-Miop%C3%ADa-Miope-Myodisc-Alta-Resistencia-Pd62-Gafas.jpg>

5.2. Proceso de selección de la montura:

Este será el procedimiento a seguir para la selección de cómo será la montura que diseñaremos a posteriori.

El primer paso será hacer un examen refractivo a nuestro paciente, este paso no se detallara porque no es el objetivo de este trabajo. Una vez tengamos su graduación procederemos a sentarnos con nuestro usuario para hacerles unas pequeñas preguntas (anamnesis) y así, poder ofrecerle la mejor ayuda para su corrección óptica.

Anamnesis:

Para este paso hemos creado un cuestionario inicial, anamnesis, en el cual rellenamos para tener una idea clara de cómo tiene que ser el diseño de montura para dar la solución más adecuada. Una vez realizadas estas preguntas (véase en documento **DE LA FIGURA 26...**) sabremos de forma relativamente precisa lo que le gusta al paciente y lo que necesita. Muchas veces este concepto de gusto estético por parte del usuario y necesidad para una corrección ideal debido a la graduación, no es la misma, por esto será necesario encontrar un equilibrio para la solución más idónea del problema.

ANAMNESIS:

- Necesidad visual
VL ☐ VP ☐ VL/VP ☐ tipo de lente
- ¿Usuario habitual de gafas?
NO ☐ SI ☐ Tipo (VL, VC, prog., etc):
- Ocupación.
ESTUDIANTE ☐ TRABAJO ☐ tipo de trabajo:
- ¿Practica algún deporte?
NO ☐ SI ☐ : CON LC ☐
CON GAFA ☐ tipo de deporte:
- Tipo de gafa en la actualidad (pasta, ranura, al aire):
LE FUE BIEN ☐ NO LE FUE BIEN ☐ motivo:.....
- Forma orientativa que le gustaría llevar.....
- Colores favoritos?
- ¿Que valora más en una gafa? (3 aspectos)
-
-
-

Figura 28: Ejemplo de anamnesis a realizar.

A continuación procederemos a la toma de medidas objetivas por parte del optometrista o la persona que vaya a realizar este diseño. El orden de estas medidas no influirá en el resultado final, es decir, en la montura creada.

Medir DNP's:

Esta es una medida relativamente fácil, pero a la vez es muy importante, sobre todo en graduaciones relativamente altas, usuarios de progresivos y personas con forias o tropias.

El proceso es muy simple colocaremos la regla de medida de DNP con el orificio central apoyado en el puente de nuestro usuario, a continuación le pediremos que nos mire con uno de sus ojos a nuestro ojo contralateral y luego repetiremos la medida con su otro ojo. Normalmente esta medida suele ser muy similar en ambos ojos del orden de 1 o 2 mm de diferencia, pero hay casos un poco más especiales como los que mencionare a continuación.

En el caso de que el usuario tenga un estrabismo o una foria deberemos de taparle el ojo contrario al que queremos hacer la medida.

Medir distancia de sien a sien:

Este paso nos dirá exactamente como tendrá que ser de ancho total esta gafa, el procedimiento a seguir será el siguiente:

Primero pediremos al paciente que se ponga recto ante nosotros

A continuación le explicaremos el proceso que seguiremos, que le pondremos un medidor para medir el ancho de su futura gafa (le enseñaremos el medidor). Después procederemos a hacer la medida.

Por ultimo nos la apuntaremos para su posterior utilización en el cálculo del calibre de la montura.

Elegir tipo de nasal:

Esta medida es más una prueba de ensayo y error que una medida concreta, el procedimiento consistirá:

Primero el pediremos al paciente, como en anteriores medidas, que se ponga recto con nosotros.

Le explicaremos y enseñaremos la herramienta a utilizar.

Procederemos a hacer la medida, esta medida será un poco más dependiente a lo que nosotros creamos, por experiencia, lo que le será más cómodo. No hay que decir que el puente debe quedar perfectamente colocado, pero hay la posibilidad de que dos puentes le queden correctamente encajados, entonces decidiremos nosotros.

Por ultimo apuntaremos el número de puente seleccionado para los cálculos posteriores.

Una vez tomadas estas medidas podemos tener una idea en nuestra cabeza de cómo debería ser el diseño más idóneo tanto por fisionomía como por su graduación, pero no es un mundo ideal, el usuario tiene sus gustos y muchas veces no concuerdan con nuestro diseño. En estos casos deberemos intentar exponer nuestra idea e intentar persuadirle de formas o medidas que sean ideales para su ametropía o fisionomía.

Para ayudar en este proceso tendremos muestras tanto impresas en 3D como formas digitales para que se haga una idea del estilo que le gustaría.

Si no conseguimos convencer de nuestro diseño ideal deberemos encontrar un punto medio, que no sea ideal, pero si sea bastante viable.

5.3. Diseño de la montura en simulación 3D.

Una vez hemos pactado la forma y el estilo que quiere el usuario procederemos a calcular los parámetros que deberá tener nuestro diseño para que sea personalizado. Para esto hemos creado una fórmula de determinación del calibre que mostraremos y explicaremos a continuación.

S= medida de sien a sien en mm.

P= puente.

G= grosor de nuestra montura (normalmente imprimiremos con un grosor de 4mm, pero puede alterarse según la necesidad y a nuestro criterio.

C= calibre.

$$C = \frac{S - P - (G * 4)}{2}$$

Fórmula 1: Determinación del calibre.

Hacer siempre este cálculo, aunque sencillo, puede ser engorroso, así que, podemos hacer una pequeña tabla de Excel para hacerlo rápidamente y no cometer errores. Este podría ser un ejemplo hipotético de una persona con una cara estrecha.

	A	B	C	D	E
1	S	P	G	C	
2	130	19	4	47,5	
3					
4					
5					
6					
7					

Tabla 9: Ejemplo de cálculo de la fórmula 1.

A continuación, iniciaremos el proceso de modelado en 2D. en nuestro caso hemos optado por diseñar con el programa *AutoCAD 2016*. El primer paso será dibujar la forma de la lente del OD con el calibre que deseemos.

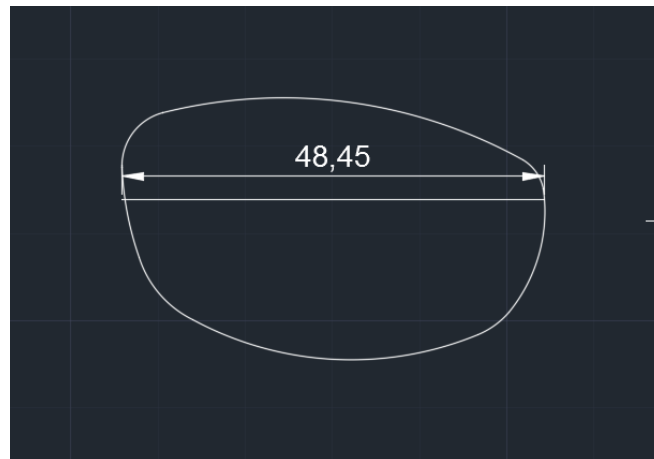


Figura 29: Proceso de diseño de la forma de la lente.

Seguidamente haremos lo que será la estructura de material que usaremos, es un paso sencillo, pero hay que tener cuidado porque tendremos que encontrar el factor de aumento que nos dará el grosor de la montura. en este caso hipotético será de 4mm.

$$FA = \frac{C + G * 2}{C}$$

Fórmula 2: Factor de aumento para crear el borde exterior de la montura.

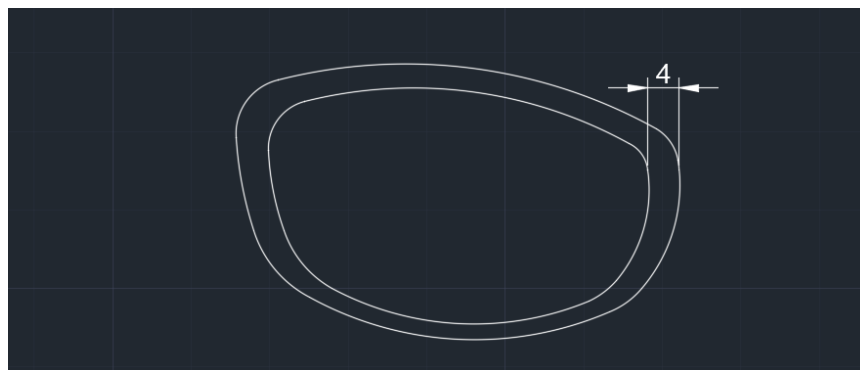


Figura 30: Proceso de diseño del grosor de la montura.

Este es el momento de hacer el puente que necesita nuestro usuario, para este paso únicamente haremos una duplicación de la imagen en simetría y la colocaremos a la distancia en mm del número de puente seleccionado, en este caso será el puente de 19.

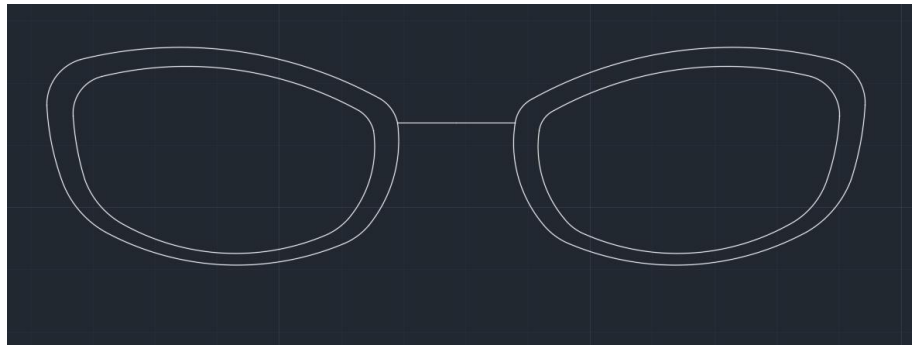


Figura 31: Simetría de AO con distancia determinada.

Una vez tenemos la estructura básica de la montura que la unión del puente y la parte superior central de la montura. Unir por el puente es muy sencillo, solo hay que seguir la tabla mencionada en el apartado de diseño de la regla de medida de nasales, en este caso al ser un puente de 19 utilizaremos un radio de 12.5 mm.

La unión de la parte superior es un poco más dependiente de la forma elegida y el concepto de diseño estético que tengamos en cuenta.

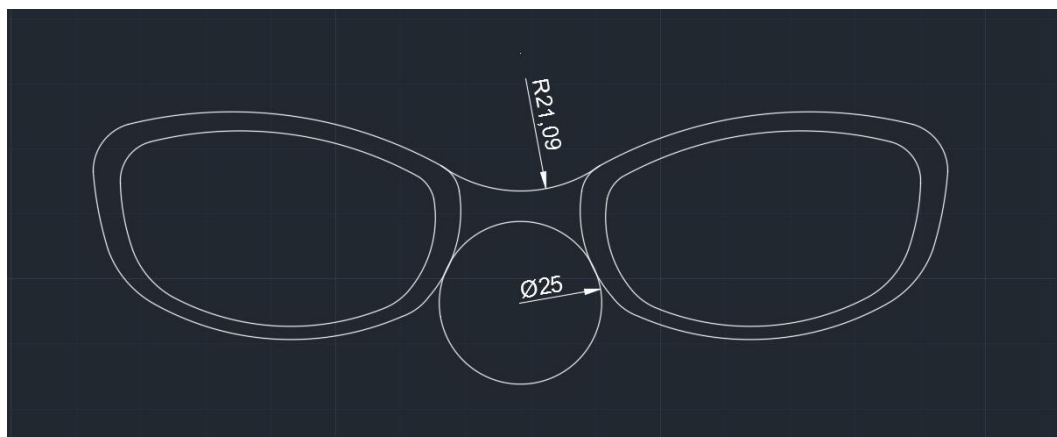


Figura 32: Unión de aros de frontal con radios determinados.

Una vez eliminamos todas las líneas que no nos interesan ya tenemos nuestro frontal en 2D como un objeto único y no una serie de líneas agrupadas.

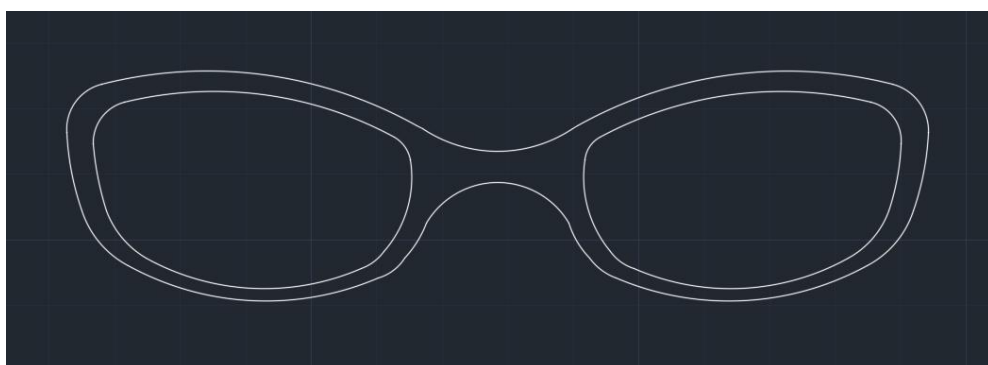


Figura 33: Primera forma de bloque frontal.

Una vez tenemos nuestra montura en 2D lista es el momento de pasar al modelado en 3D, al partir de un sólido en dos dimensiones la tercera será mucho más fácil que intentar iniciar directamente en el diseño en 3D.

En este paso lo que haremos es extrusionar la montura en el eje Z 10 mm, de esta forma nos quedara una montura como esta.



Figura 34: Bloque frontal extruido.

En nuestro siguiente paso crearemos las curvaturas y el espesor que querremos para nuestra montura, haciéndolo de esta manera podemos crear ángulos faciales apropiados para cada caso, teniendo muy en cuenta la lente que elegiremos luego. Para poner un ejemplo si queremos diseñar una montura para hacer deporte y queremos curvarla mucho (base 6) deberemos poner una lente de esta base que no nos haga peligrar la integridad del material.

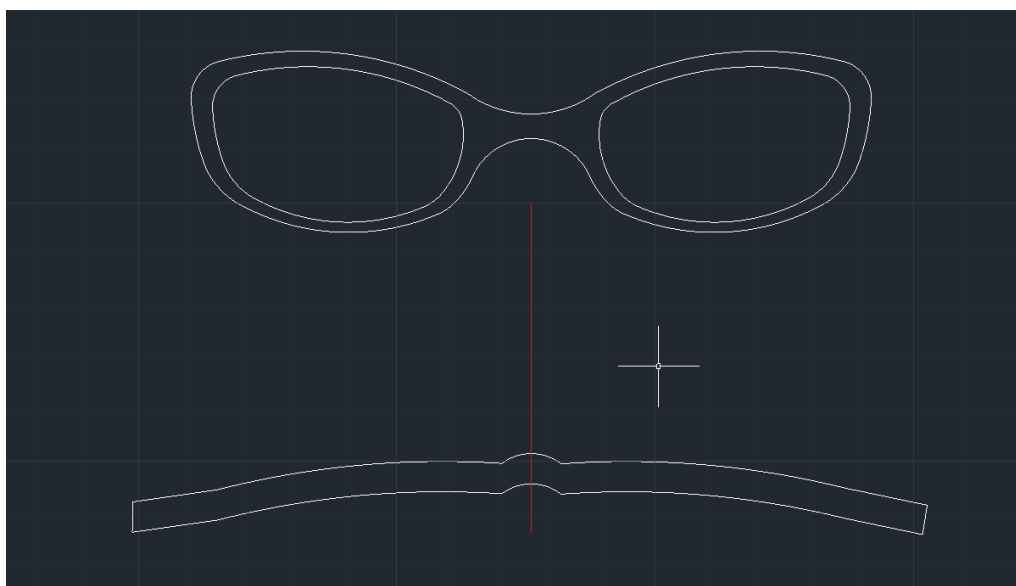


Figura 35: plano para dar curvatura facial al frontal.

En la imagen anterior se ven las alas de la curvatura más larga que la misma, esto es muy importante debido a que si lo hacemos muy similares podremos tener problemas a la hora de recortar la montura base.

En nuestro siguiente paso tendremos que dar tridimensionalidad a nuestra plancha de ángulos faciales y la alinearemos en un plano igual que el de la montura base, como se muestra en la imagen siguiente.

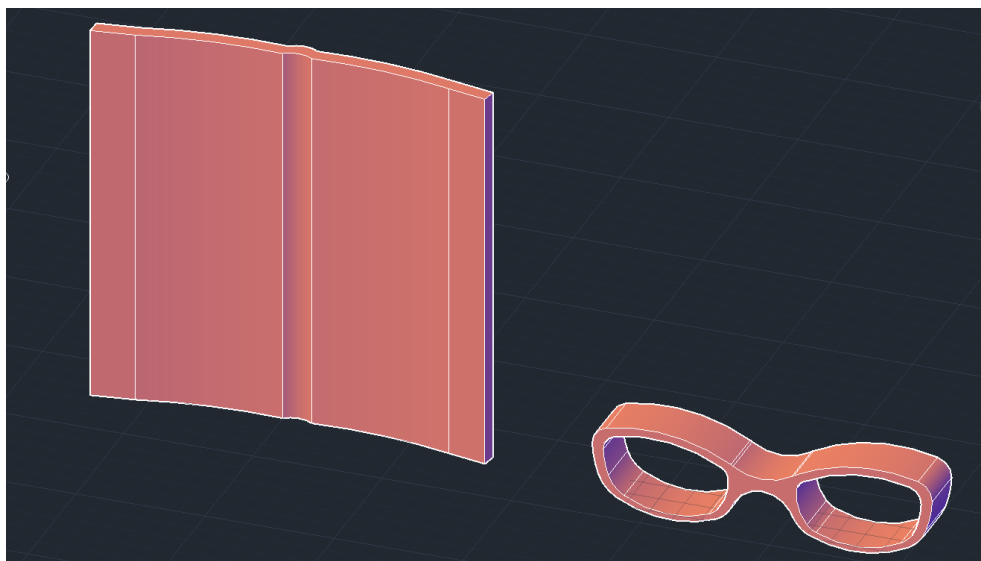


Figura 36: Extrusión de la plancha de curvatura e igualación de frontal en mismo plano.

Lo próximo será fusionar la forma de esta montura con la plancha de curvaturas, para así tener el frontal definitivo

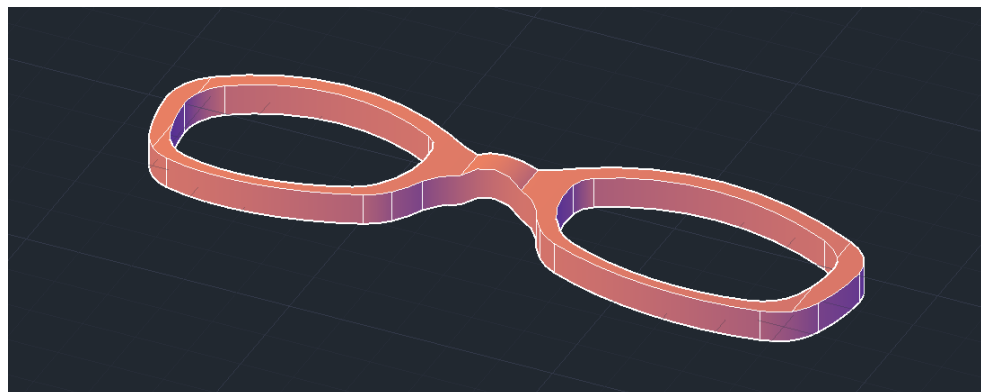


Figura 37: Frontal de montura cortado con ángulo facial.

En este momento tendremos el frontal tal y como queremos de forma, pero los bordes son muy toscos y antiestéticos, así que habrá que rebajarlos con un radio de empalme de aproximadamente 1mm.



Figura 38: Frontal de montura con bordes suavizados.

Cuando tengamos el frontal con la forma y los bordes deseados llegara el momento de hacer el bisel, el procedimiento es muy simple, cogeremos la forma inicial de la lente y la haremos 1mm más grande en toda su superficie. A continuación, la extruiremos 1mm en el eje Z.

Este procedimiento será válido para monturas como mucho con 5 grados de ángulo facial, en el caso de que queramos crear una montura con una curvatura mayor deberemos darle curvatura a la forma de la lente para el bisel.

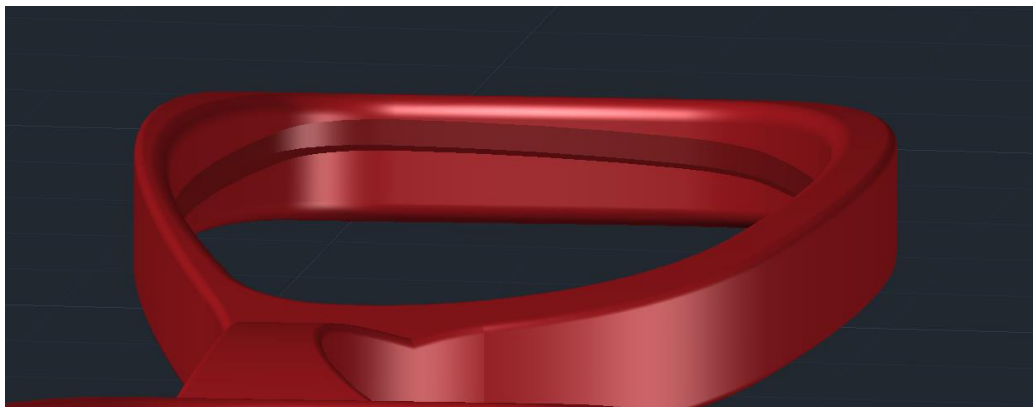


Figura 39: Frontal con bisel para lente.

Nuestro siguiente paso será diseñar la charnela en el caso de que queramos una charnela del material de la montura, en caso contrario deberemos hacer un orificio, de profundidad dependiente a la forma de la charnela metálica que tengamos, para poder insertarla.

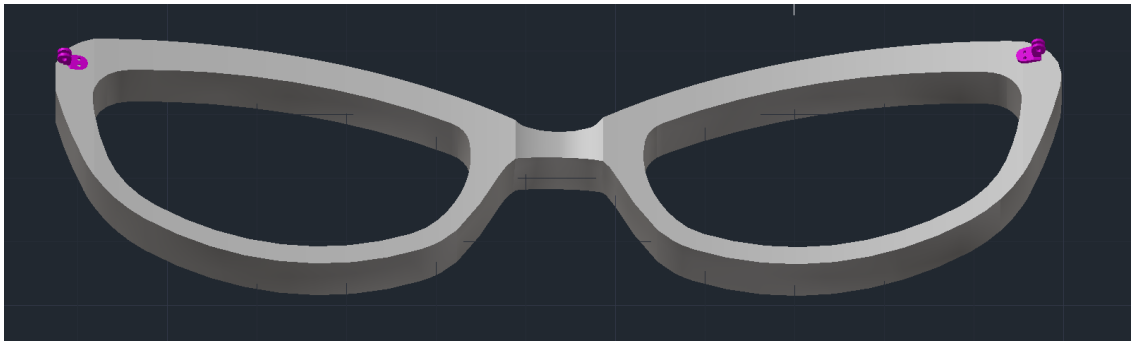


Figura 40: Frontal con inserción de charnelas.

Por ultimo insertaremos las plaquetas que se sujetaran a la nariz para su comodidad y posicionamiento.

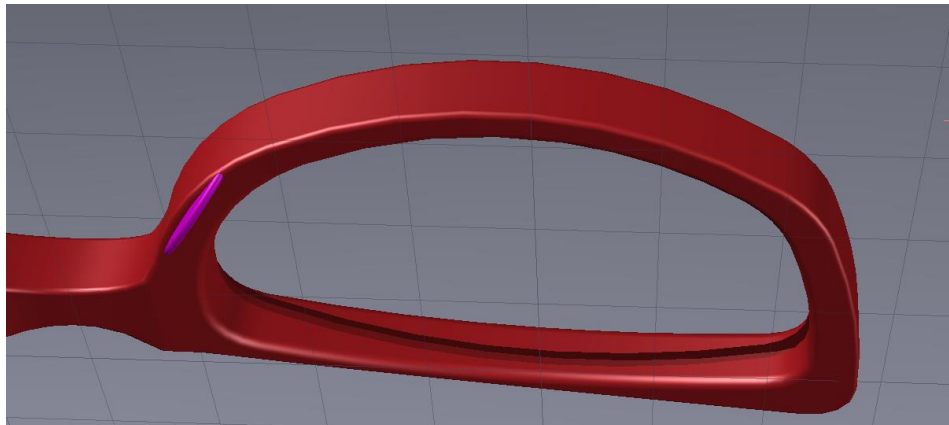


Figura 41: Detalle de aro izquierdo con inserción de plaqueta.

Solo nos quedaría el procedimiento de las varillas, que constaría de los mismos pasos.

- Diseño de la varilla en dos dimensiones.
- Convertir el conjunto de líneas en un bloque continuo.
- Extruir la varilla con el espesor que deseemos (idealmente el mismo espesor que el frontal).
- Darle la curvatura deseada.
- Colocar charnela (en el caso de quererla en el mismo material).



Figura 42: Diseño 2D y 3D de varillas.

6. **Conclusiones, limitaciones y perspectivas futuras**

En el marco teórico que tenemos se ha puesto de manifiesto cómo la tecnología de la impresión 3D gana cada vez más terreno en todos los sectores a la mecanización convencional.

Debido a la versatilidad de esta tecnología, cada vez habrá más empresas que inviertan en estos procesos ya que un archivo es más fácil y económico de exportar a cualquier parte del mundo que una partida de cualquier producto.

El movimiento RepRap se ha popularizado para uso doméstico a causa del abaratamiento de las impresoras 3D personales. La posibilidad de imprimir cualquier pieza que seamos capaces de diseñar o descargar de un repositorio público, es muy atractiva. No obstante tiene algunas limitaciones, como puede ser el tipo de material que admite cada modelo de impresora, los acabados superficiales y la habilidad de aprendizaje inicial para poder crear un buen objeto.

El propósito inicial de este trabajo era crear (diseñar y fabricar) una montura a medida, tanto para usuarios que no hallan monturas adecuadas a su fisonomía entre la oferta comercial actual como para personas que buscan una gafa exclusiva. Para ello, el primer paso ha sido adquirir y montar la impresora 3D. Pero debido a las complicaciones encontradas en el ensamblado y puesta en marcha de la impresora 3D, hemos tenido que limitar la ambición inicial del TFG a fabricar los prototipos de toma de medidas y diseñar la montura, dejando para una segunda fase la impresión 3D de la misma.

Por esta limitación principal, se concluye el trabajo apuntando las perspectivas futuras que se plantean para superarla.

- Ensamblar y calibrar las piezas de la impresora que han tenido que ser devueltas al fabricante. Poner en funcionamiento la impresora y hacer las primeras pruebas para verificar su exactitud y calidad de acabados.
- Una vez obtenida la montura personalizada, realizar un estudio comparativo de su comodidad a largo plazo: Con esto podríamos evaluar y comparar las diferencias para un mismo usuario entre una montura plástica convencional y una fabricada a medida en impresión 3D.
- Crear monturas bimatériau: este proceso podría ser ideal para gafas infantiles combinando materiales rígidos con materiales flexibles.
- Perfeccionar el protocolo de adaptación: probar este protocolo en una muestra de usuarios, verificando así su eficacia con el objetivo de mejorarlo.
- Con el protocolo validado, realizar un estudio clínico de adaptación comparativo entre usuarios de monturas convencionales frente a las personalizadas impresas en 3D.

7. **Bibliografía:**

Libros:

[Gómez, S. et 2016] Gómez, S. "Impresión 3D", ed. Marcombo, primera edición, publicado 2016.

Artículos:

[López, JE. et en 03/16] López, JE. "Nota de futuro, Impresión 3D" (consulta online; visto en octubre de 2016) http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf

[Fontrodona, J; Blanco, R. et en 2014] *Estado actual y perspectivas de la impresión en 3D*: "Estado actual y perspectivas de la impresión en 3D" (consulta online; visto noviembre de 2016)

http://empresa.gencat.cat/web/.content/19_-_industria/documents/economia_industrial/impressio3d_es.pdf

Consultas online:

Fabricación convencional de monturas, acabados: (consulta online; visto en diciembre de 2016) <http://www.fabricaciondegafas.com/Procesoacabados.htm>

Fabricación convencional de monturas, varillas: (consulta online; visto en diciembre de 2016) <http://www.fabricaciondegafas.com/Procesovarillas.htm>

Fabricación convencional de monturas, frontales: (consulta online; visto en diciembre de 2016) <http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

Diseño de formas para monturas, matriceria: (consulta online; visto en diciembre de 2016) <https://histoptica.com/apuntes-de-optica/monturas/introduccion-a-las-monturas/imagenes-de-procesos-de-matriceria-para-monturas/>

Características de materiales utilizados en la fabricación habitual de monturas: (consulta online; visto en diciembre de 2016) http://www.fabricaciondegafas.com/Datos_tecnicos_materiales.htm

Referencias de las ilustraciones:

Figura 1: Técnica de estereolitografía: (visto en web 20016) <http://lafabricadeinventos.com/estereolitografia-sla/>

Figura 2: Impresora de sintetizado selectivo por laser: (visto en web 20016) <https://tfmrimuned.wordpress.com/sinterizado-selectivo-por-laser-sls/>

Figura 3: Técnica de sintetizado selectivo por laser: (visto en web 20016) <https://tfmrimuned.files.wordpress.com/2012/04/sls-nuevo.jpg>

Figura 4: Técnica de LOM: (visto en web 20016).

<http://reprap.org/wiki/Introducci%C3%B3nALaImpresi%C3%B3n3D>

Figura 5: Técnica de impresión 3DP: (visto en web 2016).

<http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/3dp.png>

Figura 6: Impresión en FDM: (visto en web 2016).

<http://www.ratolinformatic.es/las-mejores-impresoras-3d-principiantes/>

Figura 7: Técnica FDM: (visto en web 2016).

<https://felipecarlosrodriguez.files.wordpress.com/2014/03/400px-fff.png>

Figura 8: Impresora Foodini: (visto en web 2016).

<http://www.gadget.com/wp-content/uploads/2014/03/foodini.jpg>

Figura 9: Impresión de comida de impresora foodini: (visto en web 2016).

<http://www.blackvibes.com/images/blogs/1-2014/29310-technology-3d-print-y.jpg>

Figura 10: Fabricación con impresora 3D para medicamentos:(visto en web 2016).

http://api.rue89.nouvelobs.com/sites/news/files/styles/mobile2-tablette-asset-center/public/assets/image/2015/08/capture_decran_2015-08-18_a_08.37.45.png

Figura 11: Impresora FDM doméstica: (visto en web 2016).

<http://cde.peru21.pe/ima/0/0/1/3/1/131070.jpg>

Figura 12: Moldes de matriceria para frontales: (visto en web 2016)

<https://histoptica.com/apuntes-de-optica/monturas/introduccion-a-las-monturas/fases-y-procesos/>

Figura 13: plancha de acetato con nasal pegado: (visto en web 2016).

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

Figura 14: Maquina de control numérico: (visto en web 2016).

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

Figura 15: Frontal después de pasar por CNC.: (visto en web 2016).

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

Figura 16: Proceso de empotrado de charnelas: (visto en web 2016).

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

Figura 17: Bombos para pulir acetato: (visto en web 2016).

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesofrentes.htm>

Figura 18: Maquina para insertar esqueleto metálico de varillas: (visto en web 2016)

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesovarillas.htm>

Figura 19: Proceso de lima de junta de la varilla para ángulo pantoscópico: (visto en web 2016).

<http://www.fabricaciondegafas.com/Procesoacabados.htm>

Tabla 1: propiedades de ABS:.

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

Tabla 2: propiedades PLA:

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

Tabla 3: propiedades NYLON:.

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

Tabla 4: Propiedades HIPS:

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

Tabla 5: Propiedades PET:

<http://fernandogonzalezbenitez.blogspot.com.es/2015/07/materiales-en-impresoras-3d.html>

Tabla 6: comparativa de materiales en el mercado actual:

Página 199 del libro "Impresión 3D"

Tabla 7: Comparativa de materiales plásticos utilizados en la actualidad para fabricación de monturas.

http://www.fabricaciondegafas.com/Datos_tecnicos_materiales.htm